



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES**  
**Y REDES**

**“ESTUDIO DE INGENIERÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y**  
**EVALUACIÓN POR SOFTWARE DE UNA ESTACIÓN BASE**  
**DENTRO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO**

**Para optar al Grado Académico de:**  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTORES: MARIO ALEJANDRO PAGUAY ALVARADO**  
**EDISON FABRICIO VILCACUNDO ALBARRACIN**  
**TUTOR: ING. JEFFERSON RIBADENEIRA PHD.**

Riobamba-Ecuador

2018

©2018, **Mario Alejandro Paguay Alvarado, Edison Fabricio Vilcacundo Albarracín.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: ESTUDIO DE INGENIERIA PARA LA IMPLANTACION Y EVALUACION POR SOFTWARE DE UNA ESTACION BASE DENTRO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, de responsabilidad de los señores MARIO ALEJANDRO PAGUAY ALVARADO Y EDISON FABRICIO VILCACUNDO ALBARRACIN, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Julio Santillán C.

**VICEDECANO DE LA FACULTAD DE**  
**INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

.....

Ing. Adolfo Patricio Romero

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE**  
**INGENIERIA ELECTRONICA EN**  
**TELECOMUNICACIONES Y REDES**

.....

Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira R. PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE**  
**TITULACIÓN**

.....

Ing. Oswaldo Geovanny Martínez G. MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

.....

Nosotros, Mario Alejandro Paguay Alvarado y Edison Fabricio Vilcacundo Albarracín declaramos ser responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mario Alejandro Paguay Alvarado

Edison Fabricio Vilcacundo Albarracín

## **DEDICATORIA**

A mi madre Mayra Alvarado Castillo por ser siempre el apoyo incondicional en mi vida, la mejor consejera y mi fuente de amor e inspiración.

A mi padre Marioaguay Cuvi por siempre creer en mí y en mis capacidades, por su apoyo incondicional y ser un profesional ejemplar.

A mi hermana Alejandraaguay Alvarado por siempre brindarme una sonrisa aun en momentos difíciles y por ser la fuente de cariño y dulzura en mi vida.

A Maru, Herick, Fabricio y Mauricio por acompañarme a lo largo de carrera y demostrar su amistad incondicional.

A los “Tektos” por ser los mejores amigos y demostrar que la amistad y camaradería puede durar mucho tiempo.

**Mario**

A mis padres Manuel y Beatriz, que siempre me brindan su apoyo incondicional, y que día a día me ofrecen su confianza en toda actividad que realice.

A mi abuelita Ofelia y mi hermano Alex que con sus ocurrencias muestran que sin importar las circunstancias por las que se atravesase siempre hay motivos para disfrutar de un momento ameno, y alegrar el día.

A mis primos Yadira, Glenda y Santiago que siempre me acompañaron desde que tengo memoria y siempre los consideraré como mis hermanos.

A mis compañeros que han estado presentes todo este periodo en las buenas y en las malas, e hicieron posible que el tiempo que compartimos se conviertan en gratos recuerdos que siempre permanecerán en mi memoria.

**Fabricio**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme hacia el camino correcto para alcanzar este logro.

A mis padres Mario y Mayra por brindarme el apoyo necesario en este proceso, por siempre estar pendientes de mí y por motivarme siempre a realizar grandes cosas. A mi hermana Alejandra por siempre sacarme una sonrisa y darme su cariño y apoyo.

A los profesores que a lo largo de la carrera supieron brindarme lo mejor de sus conocimientos para complementar mi formación como profesional.

A nuestro tutor Ing. Jefferson Ribadeneira PhD. y al Ing. Oswaldo Martínez Msc. por guiar este trabajo de titulación y aportar con sus conocimientos para la realización del mismo.

A mis amigos y compañeros de carrera que en algún momento me brindaron su ayuda e hicieron de la universidad un lugar mucho más ameno.

**Mario**

A mis padres Manuel y Beatriz por apoyarme en todas las decisiones que he tomado en mi vida estudiantil y nunca presionarme a hacer algo con lo que yo no estuviera satisfecho, brindándome a su vez toda su confianza, cariño, y cuidado incluso a la distancia. Gracias

A mi hermano Alex por impulsarme a ser cada vez mejor en toda actividad que realice, así también a toda mi familia que de una u otra manera siempre me han brindado su respaldo.

A todas las personas que estuvieron presentes estos años, que con su buena onda y calidez han hecho posible que siempre me sintiera como en casa.

A todos los profesores que supieron brindar su tiempo y conocimiento para ayudarnos a crecer personal y profesionalmente, especialmente al Ing. Jefferson Ribadeneira PhD. y al Ing. Oswaldo Martínez Msc por guiarnos en el presente trabajo de titulación.

**Fabricio**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEORICO.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Comunicaciones móviles.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.1 Composición de un sistema de comunicaciones móviles.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.1.1 Estaciones Fijas.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.1.2 Estaciones Móviles.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.1.3 Equipos de Control.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.3 Principales agentes involucrados en sistemas de comunicaciones móviles.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.3.1 Reguladores, nacionales e internacionales.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.3.2 Fabricantes de equipos de red.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.3.3 Fabricantes de terminales.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.3.4 Proveedores de sistemas operativos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.3.5 Proveedores de aplicaciones y servicios.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.3.6 Operadores con red propia.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.3.7 Operadores móviles virtuales.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3.8 Clientes y Usuarios.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Sistemas de telefonía Celular.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.1 Elementos principales de la red celular básica.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.1.1 Móviles.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.1.2 Estación Base.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.1.3 MSC.....</b>	<b>13</b>

<b>1.2.2</b>	<b><i>Celda</i></b> .....	<b>14</b>
<b>1.2.2.1</b>	<b><i>Celda práctica y analítica</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.2.2</b>	<b><i>Tamaño de las celdas</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2.3</b>	<b><i>Sectorización de las celdas</i></b> .....	<b>17</b>
<b>1.2.3</b>	<b><i>Área de cobertura</i></b> .....	<b>19</b>
<b>1.2.4</b>	<b><i>Planes de reuso de frecuencia</i></b> .....	<b>20</b>
<b>1.2.5</b>	<b><i>Handover</i></b> .....	<b>22</b>
<b>1.3</b>	<b>Generaciones de telefonía móvil</b> .....	<b>23</b>
<b>1.3.1</b>	<b><i>Primera Generación (1G)</i></b> .....	<b>23</b>
<b>1.3.2</b>	<b><i>Segunda Generación (2G)</i></b> .....	<b>24</b>
<b>1.3.3</b>	<b><i>Segunda Generación Avanzada (2.5G)</i></b> .....	<b>24</b>
<b>1.3.4</b>	<b><i>Tercera Generación (3G)</i></b> .....	<b>26</b>
<b>1.3.5</b>	<b><i>Cuarta Generación (4G)</i></b> .....	<b>26</b>
<b>1.4</b>	<b>Descripción de la red UMTS</b> .....	<b>27</b>
<b>1.4.1</b>	<b><i>Núcleo de la red</i></b> .....	<b>28</b>
<b>1.4.2</b>	<b><i>Red de Acceso UTRAN</i></b> .....	<b>29</b>
<b>1.4.2.1</b>	<b><i>Acceso al medio</i></b> .....	<b>29</b>
<b>1.4.2.2</b>	<b><i>Bandas de Funcionamiento</i></b> .....	<b>30</b>
<b>1.4.2.3</b>	<b><i>Capa Física</i></b> .....	<b>31</b>
<b>1.4.2.4</b>	<b><i>Canales</i></b> .....	<b>32</b>
<b>1.4.2.5</b>	<b><i>Control de potencia</i></b> .....	<b>33</b>
<b>1.4.3</b>	<b><i>Terminales móviles</i></b> .....	<b>34</b>
<b>1.4.4</b>	<b><i>HSPA</i></b> .....	<b>36</b>
<b>1.4.4.1</b>	<b><i>HSDPA</i></b> .....	<b>37</b>
 <b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLOGICO</b> .....	<b>39</b>



<b>2.1</b>	<b>Telefonía celular en la provincia de Chimborazo.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Índice de Acceso a Telefonía Celular.....</i></b>	<b>39</b>
<b>2.1.2</b>	<b><i>Análisis de los cantones de la provincia de Chimborazo con menor acceso.....</i></b>	<b>40</b>
<b>2.1.2.1</b>	<i>Cantón Guamote.....</i>	41
<b>2.1.2.2</b>	<i>Cantón Penipe.....</i>	42
<b>2.1.2.2</b>	<i>Cantón Alausí.....</i>	43
<b>2.1.2.2</b>	<i>Cantón Guano.....</i>	45
<b>2.1.2.2</b>	<i>Cantón Colta.....</i>	45
<b>2.1.3.</b>	<b><i>Principales locaciones.....</i></b>	<b>47</b>
<b>2.2</b>	<b>Método e indicadores para selección de zona de cobertura.....</b>	<b>48</b>
<b>2.2.1.</b>	<b><i>Metodo cualitativo por puntos.....</i></b>	<b>48</b>
<b>2.2.2.</b>	<b><i>Evaluacion de los factores.....</i></b>	<b>49</b>
<b>2.2.2.1</b>	<i>Población.....</i>	49
<b>2.2.2.2</b>	<i>Ausencia de cobertura de telefonía celular.....</i>	52
<b>2.2.2.3</b>	<i>Aislamiento por falta de servicios de telecomunicaciones.....</i>	57
<b>2.2.2.4</b>	<i>Factibilidad.....</i>	59
<b>2.3</b>	<b>Estudio de demanda en la zona seleccionada.....</b>	<b>62</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Diseño de la Investigación.....</i></b>	<b>62</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Métodos de investigación, técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos.....</i></b>	<b>62</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Diseño del cuestionario.....</i></b>	<b>62</b>
<b>2.3.4</b>	<b><i>Determinación de la muestra.....</i></b>	<b>63</b>
<b>2.4</b>	<b>Selección de la tecnología en la zona.....</b>	<b>63</b>
<b>2.5</b>	<b>Ubicación de la estación de telefonía celular.....</b>	<b>63</b>
<b>2.5</b>	<b>Descripción de la estación de telefonía celular.....</b>	<b>64</b>

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
<b>3.1</b>	<b>Determinación de la localización.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2</b>	<b>Tamaño de la muestra.....</b>	<b>67</b>
<b>3.3</b>	<b>Evaluación de resultados de encuesta.....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Pregunta 1.....</i>	<i>68</i>
<b>3.3.2</b>	<i>Pregunta 2.....</i>	<i>69</i>
<b>3.3.3</b>	<i>Pregunta 3.....</i>	<i>69</i>
<b>3.3.4</b>	<i>Pregunta 4.....</i>	<i>70</i>
<b>3.3.5</b>	<i>Pregunta 5.....</i>	<i>71</i>
<b>3.3.6</b>	<i>Pregunta 6.....</i>	<i>71</i>
<b>3.3.7</b>	<i>Pregunta 7.....</i>	<i>72</i>
<b>3.4</b>	<b>Tipo de tecnología para el Nodo B.....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Factibilidad de conexión.....</i>	<i>73</i>
<b>3.4.2</b>	<i>Evaluación de los requerimientos de la demanda.....</i>	<i>74</i>
<b>3.5</b>	<b>Emplazamiento del Nodo B.....</b>	<b>75</b>
<b>3.5.1</b>	<i>Canal de transmisión.....</i>	<i>75</i>
<b>3.5.2</b>	<i>Zona del sitio de enlace y difusión.....</i>	<i>75</i>
<b>3.5.3</b>	<i>LOS Y Zona de Fresnel.....</i>	<i>78</i>
<b>3.5.4</b>	<i>Ubicación exacta del emplazamiento.....</i>	<i>80</i>
<b>3.6</b>	<b>Diseño del Nodo B.....</b>	<b>82</b>
<b>3.6.1</b>	<i>Sectores de cobertura.....</i>	<i>82</i>
<b>3.6.2</b>	<i>Banda de frecuencias.....</i>	<i>85</i>
<b>3.6.3</b>	<i>Selección de Antenas.....</i>	<i>85</i>
<b>3.6.4</b>	<i>Selección de equipos.....</i>	<i>87</i>
<b>3.6.5</b>	<i>BBU3900 y tarjetas.....</i>	<i>88</i>

<b>3.6.5.1</b>	<i>Tarjetas para sección banda base.....</i>	<b>90</b>
<b>3.6.5.2</b>	<i>Tarjetas para sección de potencia.....</i>	<b>91</b>
<b>3.6.6</b>	<i>Distribución de las tarjetas de banda base y potencia en slots de la BBU3900.....</i>	<b>93</b>
<b>3.6.7</b>	<i>RRU.....</i>	<b>94</b>
<b>3.6.8</b>	<i>Cables utilizados en los elementos de la DBS3900.....</i>	<b>95</b>
<b>3.6.9</b>	<i>Conexiones entre equipos .....</i>	<b>99</b>
<b>3.6.9.1</b>	<i>Conexión de la BBU con la red (RNC/BSC) .....</i>	<b>99</b>
<b>3.6.9.2</b>	<i>Conexión de BBU con RRU.....</i>	<b>99</b>
<b>3.6.9.3</b>	<i>Conexión de RRU hacia antenas .....</i>	<b>100</b>
<b>3.6.9.4</b>	<i>Conexión en la antena .....</i>	<b>101</b>
<b>3.6.10</b>	<b>Simulación de Cobertura.....</b>	<b>101</b>
<b>3.6.10.1</b>	<i>Cálculo de downtilt.....</i>	<b>104</b>
<b>3.6.10.2</b>	<i>Resultado final de la cobertura .....</i>	<b>107</b>
<b>3.6.10.3</b>	<i>Potencia de señal en cada sector de la comunidad Llinllin.....</i>	<b>108</b>
<b>3.6.11</b>	<b>Simulación de Capacidad.....</b>	<b>111</b>
<b>3.7</b>	<b>Enlace de Microondas.....</b>	<b>118</b>
<b>3.7.1</b>	<i>Capacidad del enlace.....</i>	<b>118</b>
<b>3.7.2</b>	<i>Equipos de microondas.....</i>	<b>119</b>
<b>3.7.3</b>	<i>Antena de microondas.....</i>	<b>123</b>
<b>3.7.4</b>	<b>Canalización.....</b>	<b>124</b>
<b>3.7.5</b>	<i>Simulación.....</i>	<b>125</b>
<b>3.8</b>	<b>Equipos de potencia.....</b>	<b>128</b>
<b>3.8.1</b>	<i>Cuadro eléctrico.....</i>	<b>129</b>
<b>3.8.2</b>	<i>Gabinete Rectificador APM30H.....</i>	<b>129</b>
<b>3.8.2.1</b>	<i>Esquema de la conexión del gabinete APM30H.....</i>	<b>133</b>
<b>3.8.3</b>	<i>Gabinete para Baterías IBBS200D.....</i>	<b>134</b>

3.8.3.1	<i>Baterías</i>	135
3.8.3.2	<i>Bastidor Base</i>	136
3.8.3.3	<i>Esquema de implementación de los gabinetes</i>	137
3.9	<b>Dimensionado de carga eléctrica</b>	137
3.10	<b>Obra Civil</b>	139
3.10.1	<i>Torre</i>	139
3.10.2	<i>Construcción</i>	143
3.11	<b>Propuesta económica</b>	147
3.11.1	<i>Costos de implementación</i>	147
3.11.2	<i>Análisis Financiero</i>	149
<b>CONCLUSIONES</b>		158
<b>RECOMENDACIONES</b>		160
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Bandas pareadas uplink y downlink para UMTS FDD y UMTS TDD.....	31
<b>Tabla 2-1:</b> Características de la capa física en UMTS .....	31
<b>Tabla 3-1:</b> Canales lógicos de la interfaz UMTS-FDD.....	32
<b>Tabla 4-1:</b> Uso y categorización de los canales de transporte FDD.....	32
<b>Tabla 5-1:</b> Canales físicos del modelo FDD.....	33
<b>Tabla 1-2:</b> Índice de acceso al servicio de telefonía celular en la provincia de Chimborazo.....	40
<b>Tabla 2-2:</b> Acceso a telefonía en la parroquia rural Cebadas.....	42
<b>Tabla 3-2:</b> Acceso a servicios básicos de comunicación en las comunidades del cantón Penipe..	43
<b>Tabla 4-2:</b> Telefonía por Parroquias del Cantón Alausí.....	44
<b>Tabla 5-2:</b> Matriz de acceso a servicios en telecomunicaciones en el cantón Guano.....	45
<b>Tabla 6-2:</b> Población sin servicio de telefonía celular por parroquia en el cantón Colta.....	46
<b>Tabla 7-2:</b> Población de las comunidades de la zona 1 .....	50
<b>Tabla 8-2:</b> Población de las comunidades de la zona 2.....	51
<b>Tabla 9-2:</b> Población de las comunidades de la zona 3.....	52
<b>Tabla 10-2:</b> Porcentaje de ausencia de cobertura en las zonas.....	57
<b>Tabla 1-3:</b> Resumen de los factores con relación a cada Zona de Estudio.....	65
<b>Tabla 2-3:</b> Calificaciones de cada factor con respecto a la zona.....	66
<b>Tabla 3-3:</b> Coeficientes de cada factor con respecto a la zona.....	66
<b>Tabla 4-3:</b> Peso de cada factor con relación a otros.....	67
<b>Tabla 5-3:</b> Resultado final de la evaluación de factores.....	67
<b>Tabla 6-3:</b> Sectores de 120°.....	83
<b>Tabla 7-3:</b> Sectores de 60°.....	84
<b>Tabla 8-3:</b> Modelos disponibles de RRUs Huawei.....	94
<b>Tabla 9-3:</b> Datos para simulación de cobertura.....	102
<b>Tabla 10-3:</b> Tilt calculado para Tx1.....	106
<b>Tabla 11-3:</b> Tilt calculado para Tx2.....	107
<b>Tabla 12-3:</b> Resultados de cobertura en Llinllin y sus alrededores .....	109
<b>Tabla 13-3:</b> Resultados de capacidad con 13 usuarios conectados al Nodo B al mismo tiempo.	116
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados de capacidad con 26 usuarios conectados al Nodo B al mismo tiempo.	117

<b>Tabla 15-3:</b> Capacidad del Iub de acuerdo a limitación.....	119
<b>Tabla 16-3:</b> IDU Huawei RTN 905.....	120
<b>Tabla 17-3:</b> ODU Huawei RTN 905 1A. ....	121
<b>Tabla 18-3:</b> IDU Huawei RTN 905.....	121
<b>Tabla 19-3:</b> Características de potencia de Tx RTN 905 1A .....	122
<b>Tabla 20-3:</b> Terminales de salida en EPS 01B.....	133
<b>Tabla 21-3:</b> Capacidad de Circuit Breakers .....	133
<b>Tabla 22-3:</b> Consumo de potencia DBS3900 ver. D.....	138
<b>Tabla 23-3:</b> Consumo máximo de potencia del nodo B.....	139
<b>Tabla 24-3:</b> Valor de equipos de importación .....	147
<b>Tabla 25-3:</b> Valor de equipos de importación .....	148
<b>Tabla 26-3:</b> Valor de componentes eléctricos .....	148
<b>Tabla 27-3:</b> Valor de adecuación de la estación base .....	149
<b>Tabla 28-3:</b> Población comprendida entre 15 y 64 años de la zona de cobertura inicial.....	150
<b>Tabla 29-3:</b> Población comprendida entre 15 y 64 años de la zona de cobertura adicional.....	151
<b>Tabla 30-3:</b> Proyecciones anuales de clientes potenciales.....	152
<b>Tabla 31-3:</b> Consumo estimado de energía eléctrica.....	153
<b>Tabla 32-3:</b> Estado de Resultados.....	154
<b>Tabla 33-3:</b> Flujo Neto de Efectivo.....	155

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b> Elementos de una red celular.....	12
<b>Figura 2-1</b> Área de cobertura teórica de una celda celular.....	14
<b>Figura 3-1</b> Gráficos de una celda teórica y práctica.....	15
<b>Figura 4-1</b> Grafico de la Ecuación.....	15
<b>Figura 5-1</b> Diferentes tipos de cobertura celular en función del trafico.....	16
<b>Figura 6-1</b> Tipos de sectorización más comunes.....	17
<b>Figura 7-1</b> Sectorización de 120°.....	18
<b>Figura 8-1</b> Sectorización de 60°.....	18
<b>Figura 9-1</b> Agrupación de 7 celdas y reutilización.....	21
<b>Figura 10-1</b> Agrupación de 7 celdas y reutilización.....	22
<b>Figura 11-1</b> Arquitectura de una red 3G UMTS.....	28
<b>Figura 12-1</b> Técnica de acceso al medio por multiplexación de código.....	30
<b>Figura 13-1</b> Control de Potencia.....	34
<b>Figura 14-1</b> Soft handover y hard handover.....	34
<b>Figura 15-1</b> Módulos de un terminal móvil.....	35
<b>Figura 16-1</b> Bloques de un terminal UMTS.....	36
<b>Figura 1-2</b> Acceso a telefonía celular en el cantón Guamote.....	41
<b>Figura 2-2</b> Densidad Poblacional de la parroquia Achupallas.....	44
<b>Figura 1-3:</b> Análisis de red eléctrica en la ubicación del Nodo B.....	78
<b>Figura 2-3:</b> LOS y Zona de Fresnel del Radio enlace.....	80
<b>Figura 3-3:</b> Ubicación del Nodo B a través de imágenes satelitales.....	81
<b>Figura 4-3:</b> Vista aérea de la ubicación del Nodo B.....	81
<b>Figura 5-3:</b> Vista frontal de la ubicación del Nodo B.....	82
<b>Figura 6-3:</b> Especificaciones generales de antena KATHREIN 742 265.....	87
<b>Figura 7-3:</b> Especificaciones técnicas de antena KATHREIN 742 265.....	87
<b>Figura 8-3:</b> Elementos de la DBS3900.....	88
<b>Figura 9-3:</b> BBU 3900 con respectiva numeración de slots.....	89
<b>Figura 10-3:</b> Tarjeta GTMU.....	90
<b>Figura 11-3:</b> Tarjeta UMPT.....	90

<b>Figura 12-3:</b> Tarjeta UBBPd6.....	91
<b>Figura 13-3:</b> Transceptor Óptico para conexión en puertos CPRI.....	91
<b>Figura 14-3:</b> Tarjeta UPEUd.....	92
<b>Figura 15-3:</b> Tarjeta FAN.....	92
<b>Figura 16-3:</b> Tarjeta UEIU.....	93
<b>Figura 17-3:</b> Distribución de las tarjetas a utilizar en BBU3900.....	93
<b>Figura 18-3:</b> Puertos físicos en RRU3953.....	95
<b>Figura 19-3:</b> Cable PGND RRU-BBU.....	96
<b>Figura 20-3:</b> Cable de poder de RRU3953.....	96
<b>Figura 21-3:</b> Cable de potencia BBU3900.....	97
<b>Figura 22-3:</b> Cable de alarma RRU.....	97
<b>Figura 23-3:</b> Cable CPRI de FO multimodo.....	98
<b>Figura 24-3:</b> Cables de transmisión de BBU3900.....	98
<b>Figura 25-3:</b> Jumper RF y conexión .....	98
<b>Figura 26-3:</b> Modos de conexión hacia la red .....	99
<b>Figura 27-3:</b> Modelo de conexión entre BBU3900 Y RRU3953.....	100
<b>Figura 28-3:</b> Conexión 2T2R de RRU3953 y antena KATHREIN.....	100
<b>Figura 29-3:</b> Tarjeta UPEUd.....	101
<b>Figura 30-3:</b> Conectores a utilizar en antena incluido RCU.....	101
<b>Figura 31-4:</b> Escenario general para cálculo de downtilt.....	104
<b>Figura 32-3:</b> Perfil de elevación en Sector 1.....	105
<b>Figura 33-3:</b> Perfil de elevación en Sector 2.....	107
<b>Figura 34-3:</b> Diagrama de un sistema de microondas.....	120
<b>Figura 35-3:</b> Antena Huawei A07D06HAC .....	123
<b>Figura 36-3:</b> Características de la antena en el software de simulación.....	126
<b>Figura 37-3:</b> Características del equipo de microondas en el software de simulación.....	127
<b>Figura 38-3:</b> Pérdidas totales de transmisión.....	127
<b>Figura 39-3:</b> Confiabilidad del radio enlace.....	128
<b>Figura 40-3:</b> Conexión típica de los equipos de energía en la red.....	129
<b>Figura 41-3:</b> Componentes de un APM30H (Ver. B).....	130
<b>Figura 42-3:</b> Componentes del EPS 01D.....	130
<b>Figura 43-3:</b> Exterior de la PMU 01B.....	131



<b>Figura 44-3:</b> Exterior de la PSU (EPW30-48A).....	131
<b>Figura 45-3:</b> Exterior de la EPS 01B y sus componentes.....	132
<b>Figura 46-3:</b> Terminales de entrada y salida en la EPS 01D.....	132
<b>Figura 47-3:</b> Escenario de instalación outdoor del gabinete APM30H.....	134
<b>Figura 48-3:</b> Estructura interna del IBBS2000D.....	135
<b>Figura 49-3:</b> Especificaciones de batería marca YUBSB, 12v-100Ah.....	135
<b>Figura 50-3:</b> Batería marca YUBSB, 12v-100Ah.....	136
<b>Figura 51-3:</b> Bastidor Base.....	136
<b>Figura 52-3:</b> APM30H, ISSB200D y bastidor base.....	137
<b>Figura 53-3:</b> Ilustración de una torre triangular.....	140
<b>Figura 54-3:</b> Ilustración de un captador tipo Franklin.....	141
<b>Figura 55-3:</b> Especificaciones Baliza Yuan Sheng YOL100.....	142
<b>Figura 56-3:</b> Plano de la obra civil.....	145
<b>Figura 57-3:</b> Dibujo tridimensional de la obra civil.....	145

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1-2:</b> Mapa de las comunidades de la Zona 1 .....	49
<b>Mapa 2-2:</b> Mapa de las comunidades de la Zona 2 .....	50
<b>Mapa 3-2:</b> Mapa de las comunidades de la Zona 3 .....	51
<b>Mapa 4-2:</b> Niveles de recepción de señal de telefonía celular en la Zona 1 .....	53
<b>Mapa 5-2:</b> Niveles de recepción de señal de telefonía celular en la Zona 2 .....	54
<b>Mapa 6-2:</b> Niveles de recepción de señal de telefonía celular en la Zona 3 .....	56
<b>Mapa 7-2:</b> Cobertura de CDMA 450 en la zona 1 .....	58
<b>Mapa 8-2:</b> Cobertura de CDMA 450 en la zona 2 .....	58
<b>Mapa 9-2:</b> Cobertura de CDMA 450 en la zona 3 .....	59
<b>Mapa 10-2:</b> Ubicación de puntos de conexión cercanos a la Zona 1 .....	60
<b>Mapa 11-2:</b> Ubicación de puntos de conexión cercanos a la Zona 2 .....	61
<b>Mapa 12-2:</b> Ubicación de puntos de conexión cercanos a la Zona 3 .....	61
<b>Mapa 1-3:</b> Análisis de locaciones con suficiente altitud y LOS .....	76
<b>Mapa 2-3:</b> Cuenca visual desde la zona 1 .....	77
<b>Mapa 3-3:</b> Área de interés sectorizada a 120° .....	83
<b>Mapa 4-3:</b> Área de interés sectorizada a 60° .....	84
<b>Mapa 5-3:</b> Área de interés cubierta por radiación de antenas .....	103
<b>Mapa 6-3:</b> Escenario para cálculo de downtilt en Sector 1 .....	105
<b>Mapa 7-3:</b> Escenario para cálculo de downtilt en Sector 2 .....	106
<b>Mapa 8-3:</b> a) Cobertura sin aplicar downtilt; b) Cobertura aplicando downtilt .....	108
<b>Mapa 9-3:</b> Comparación entre el throughput HSDPA disponible ideal y el de una celda cargada .....	114
<b>Mapa 10-3:</b> Simulación con 26 usuarios distribuidos en el polígono poblacional .....	115
<b>Mapa 11-3:</b> Ubicación del radio enlace .....	118

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Disponibilidad del servicio de telefonía móvil en el cantón Colta.....	46
<b>Gráfico 1-3:</b> Principales grupos de edad en la comunidad.....	68
<b>Gráfico 2-3:</b> Posesión de servicios de telefonía.....	69
<b>Gráfico 3-3:</b> Personas satisfechas con el servicio de telefonía.....	70
<b>Gráfico 4-3:</b> Personas a las que les gustaría tener el servicio de telefonía celular.....	70
<b>Gráfico 5-3:</b> Posibles usos del servicio de telefonía celular.....	71
<b>Gráfico 6-3:</b> Tipos de clientes de telefonía celular.....	72
<b>Gráfico 7-3:</b> Presupuesto mensual estimado para la telefonía celular.....	72
<b>Gráfico 8-3:</b> Porcentaje de personas con un celular activo en zona rural.....	152

## **INDICE DE ANEXOS**

**Anexo A.** Cobertura celular 2G de Claro en la Provincia de Chimborazo

**Anexo B.** Cobertura celular 3G de Claro en la Provincia de Chimborazo

**Anexo C.** Cobertura celular 4G de Claro en la Provincia de Chimborazo

**Anexo D.** Cobertura celular 2G de CNT en la Provincia de Chimborazo

**Anexo E.** Cobertura celular 3G de CNT en la Provincia de Chimborazo

**Anexo F.** Cobertura celular 4G de CNT en la Provincia de Chimborazo

**Anexo G.** Cobertura celular 2G de Movistar en la Provincia de Chimborazo

**Anexo H.** Cobertura celular 3G de Movistar en la Provincia de Chimborazo

**Anexo I.** Cobertura celular 4G de Movistar en la Provincia de Chimborazo

**Anexo J.** Cobertura celular en la Zona 1

**Anexo K.** Cobertura celular en la Zona 2

**Anexo L.** Cobertura celular en la Zona 3

**Anexo M.** Encuesta

**Anexo N.** Mapa de la parroquia Columbe

**Anexo O.** Especificaciones antena Huawei A07D6HS

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>CE</b>	Channel Elements
<b>DCS</b>	Digital Cellular Service
<b>EUTRAN</b>	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GTMU</b>	GSM Transmission and Management Unit
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>IDU</b>	Indoor Unit
<b>LBBP</b>	LTE Baseband Processor
<b>LOS</b>	Line of Sight
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>ODU</b>	Outdoor Unit
<b>RBC</b>	Relación Beneficio Costo
<b>RNC</b>	Radio Network Access
<b>RET</b>	Remote Electrical Tilting
<b>RRU</b>	Radio Remote Unit
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>UBBP</b>	Universal BaseBand Processor
<b>UBRI</b>	Universal Baseband Radio Interface
<b>UEIU</b>	Universal Environment Interface Unit
<b>UMPT</b>	Universal Main Processing and Transmission Unit
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>UPEU</b>	Universal Power Environment Unit
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto
<b>WBBP</b>	WCDMA BaseBand Processor
<b>WMPT</b>	WCDMA Main Processing and Transmission Unit

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó un estudio de ingeniería para implementar y evaluar por software una estación base dentro de la provincia de Chimborazo. Se analizaron los sitios poblados de la provincia que carecen de telefonía celular y otros servicios de telecomunicaciones. De acuerdo con los mapas de cobertura de CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT EP., se observó cómo está distribuida la telefonía móvil en la provincia, por consiguiente, se identificaron los lugares que carecen de este servicio y que, de acuerdo con datos poblacionales disponen de habitantes que lo requieren. Se evaluó el factor poblacional, la factibilidad para la ejecución, los servicios existentes en los alrededores y mediciones de cobertura en 3 zonas; se utilizó estos factores en el método cualitativo por puntos y como resultado se eligió la comunidad de Llinllin y sus alrededores en la parroquia Columbe como la locación con más posibilidad de beneficio para los pobladores y para la empresa que invertiría. Tras la elección se comprobó mediante encuestas que existe demanda de servicio y que la tecnología celular 3G/3.5G es la más apropiada para las necesidades de la población. Posteriormente se determinó la ubicación exacta para la nueva estación en función de factibilidad, accesibilidad y línea de vista con el punto de conexión y los asentamientos a cubrir. Definido el sitio, se evaluó por software de simulación el radio enlace de conexión con la red exterior de acuerdo con los parámetros de modulación y potencia de los equipos en función de banda de frecuencia, throughput y canalización; se evaluó también la cobertura de telefonía celular 3G/3.5G mediante dos sectores dirigidos a las zonas principales, niveles de recepción y throughput después de realizar optimizaciones. Se describieron los equipos y conexiones necesarias para cumplir con la cobertura planeada y se complementó con la descripción de la infraestructura civil para el proyecto, el presupuesto económico para una inversión y los indicadores financieros.

**Palabras Clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <TELEFONIA MÓVIL>, <RADIO ENLACE>, <IMPLEMENTACIÓN DE RADIO BASE>, <SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MOVILES (UMTS)>, <TECNOLOGÍA HSDPA>, <COLUMBE (PARROQUIA)>.

## ABSTRACT

In the present research work, an engineering study was done to implement and to evaluate by software a base station Chimborazo province. The populated areas of the province that lack mobile telephony and other telecommunications services were analyzed. According to the coverage maps of CONECEL S.A., OTECEL S.A. and CNT E.P., it was observed how the mobile telephony is distributed in the province, therefore, the places that lack this service and that, according to population data have inhabitants that require this service, were identified. The population factor, the feasibility for execution, the existing services in the surroundings and measurements of coverage in 3 zones were evaluated; these factors were used in qualitative method by points and as a result the community of Llinllin and its surroundings in Columbe parish was chosen as the location with the greatest possibility of benefit for the inhabitants and for the company that would invest in the project. After the election it was verified through surveys that there is a demand for service and that the 3G/3.5G cellular technology is the most appropriate for the need of the population. Subsequently, the exact location for the new station was determined based on feasibility, accessibility, and line of sight with the connection point and the area to be covered. Once the site was defined, the radio connection link with the external network was evaluated by simulation software in accordance with the modulation and power parameters of the equipment as a function of frequency band, throughput and channeling; the 3G/3.5G mobile telephony coverage was also evaluated through two sectors aimed at the main areas, reception levels and throughput after optimizations were made. The equipment and connections necessary to comply with the planed coverage were described and complemented with the description of the civil infrastructure for the project, the economic budget for an investment and the financial indicators.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <TELECOMUNICATIONS>, <MOBILE TELEPHONY>, <RADIO LINK>, <RADIO BASE IMPLEMENTATION>, <UNIVERSAL MOBILE TELECOMUNICATIONS SYSTEM (UMTS)>, <HSDPA TECHNOLOGY>, <COLUMBE (PARISH)>.

## INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

Los sistemas de telefonía han revolucionado la manera en que las personas pueden comunicarse, llegando a ser parte integral y necesaria para el desarrollo de las actividades diarias. Dichos sistemas, tanto de telefonía fija como móvil han ido evolucionando y complementándose con el pasar del tiempo, de manera que se pueden considerar imprescindibles para la vida social y el mundo de los negocios.

En Ecuador la telefonía móvil comprende la mayor parte del mercado en comparación a la telefonía fija, según las estadísticas de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, hasta noviembre del 2017 se tiene un total de 2.405.603 abonados a telefonía fija, mientras que en telefonía móvil se registra 14.888.401 líneas activas, representando una densidad de 88.85% de la población del país.

El acceso de las personas a los sistemas de telefonía en el país es extenso, las compañías tanto de telefonía fija y móvil han tratado en su mayoría de abarcar una gran cantidad de lugares posibles. Teniendo en cuenta que no siempre es factible dicho alcance principalmente para la telefonía fija, viéndose en ocasiones limitada por varios factores ya sean estos geográficos, económicos u otros, se puede decir que la telefonía móvil prevalecerá en aquellos sitios donde no se pueda contar con telefonía fija.

Sin embargo, en el país específicamente en la provincia de Chimborazo aún existen lugares en los que sus habitantes no tienen acceso a sistemas de telefonía ya sean fijos o móviles. Por lo que parte de su población se encuentra incomunicada con el resto de la provincia y el país en general.

La constitución de la República del Ecuador en su artículo 16 establece:

*“Art. 16.- Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a:*

- 1. Una comunicación libre, intercultural, incluyente, diversa y participativa, en todos los ámbitos de la interacción social, por cualquier medio y forma, en su propia lengua y con sus propios símbolos.*
- 2. El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación.*



3. *La creación de medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas.*
4. *El acceso y uso de todas las formas de comunicación visual, auditiva, sensorial y a otras que permitan la inclusión de personas con discapacidad.*
5. *Integrar los espacios de participación previstos en la Constitución en el campo de la comunicación.”*

Por tal motivo el presente trabajo de titulación comprende el estudio de ingeniería para la implementación de una estación base de telefonía móvil dentro de la provincia de Chimborazo, de esta manera la población beneficiada tendrá acceso igualitario a la tecnología celular la cual permite a una persona comunicarse desde cualquier punto donde exista cobertura hacia todo el país.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

- Existen poblaciones en la provincia de Chimborazo que no tienen acceso a los sistemas de telefonía móvil.

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿En qué lugar es necesario la implementación de una estación base de telefonía móvil?
- ¿Cuál es la tecnología de telefonía móvil que satisface de mejor manera las necesidades de la población beneficiada?
- ¿Cuál es la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la tecnología móvil?
- ¿Qué parámetros se deben cumplir para el correcto funcionamiento de la estación base?
- ¿Cuál es el costo de la posible implementación de la estación base?
- ¿Cuáles son los beneficios de la población con el proyecto?

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.**

La telefonía celular en el Ecuador lleva más de dos décadas de desarrollo a partir de su llegada y ha ido evolucionando gradualmente brindándole a la población cada vez mejores servicios de comunicación; la tecnología 2G (GSM/GPRS) brinda llamadas de voz y mensajes de texto, la tecnología 3G (UMTS/HSPA) tiene la capacidad de transmisión de datos a una suficiente velocidad, mientras que 4G (LTE) la tecnología que llegó al país hace más de 5 años puede transmitir datos a altas velocidades de transmisión además de otros innovadores servicios.

La necesidad que sufren ciertas poblaciones alejadas que no disponen del servicio de telefonía celular ha motivado a que se realicen estudios en diferentes universidades en diferentes partes del mundo acerca de cómo se podría llegar con el servicio de telefonía celular a estos sitios apartados, todo esto a pesar de las dificultades que representa y de que se consideran zonas menos pobladas como para que alguna empresa de telecomunicaciones promueva el desarrollo de un proyecto.

Para este proyecto en primer lugar se desea encontrar cuáles son los sitios de la provincia de Chimborazo que carecen del servicio de telefonía celular para evidenciar la situación de la telefonía celular en la provincia, y con el principal objetivo de evaluar las parroquias rurales de todos los cantones en base a población y ausencia del servicio para hallar los sitios con mejores posibilidades de beneficio para la población y una posible entidad inversora.

Un estudio detallado en el sitio elegido mostrará una metodología de cómo se puede proveer el servicio de telefonía celular, el cual dependerá en primera instancia de la demanda del servicio, la tecnología adecuada de acuerdo a las necesidades, la factibilidad de infraestructura, la factibilidad de conexión exterior, y la ubicación de un sitio estratégico para difusión.

Subsecuentemente se pretende detallar el diseño del sitio de difusión de señal de telefonía móvil mediante simulaciones de cobertura y capacidad en base a los equipos que puedan efectuar estas tareas efectivamente, así como la descripción de toda la infraestructura necesaria para su funcionamiento para finalmente realizar análisis económico que busca aportar una idea clara del costo aproximado de un proyecto de esta magnitud y además de los beneficios que pueden obtenerse del mismo.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

La telefonía celular se mantiene en desarrollo y evolución continua, cada vez más sitios disponen de este servicio siendo los de mayor población los primeros en acceder a esta tecnología. Sin embargo, las poblaciones más remotas y con menor cantidad de habitantes se quedan a la espera de la llegada de este servicio debido a que muchas empresas de telecomunicaciones optan por posponer el desarrollo de proyectos para llevar cobertura celular a estos sitios. Esto sucede no solo a nivel de telefonía celular, sino que también en los casos más críticos existe carencia de cualquier otro tipo de servicio de telecomunicaciones.

La cobertura de telefonía celular en la provincia de Chimborazo tiene un gran alcance a nivel de las principales cabeceras cantonales y parroquias cercanas a las mismas. Las principales operadoras móviles se han encargado de brindar una cobertura 4G únicamente en la capital provincial, 3G en lugares importantes con un buen número de población y 2G para cubrir zonas con menos habitantes o que necesitan una cobertura extensa y básica. Sin embargo, aún existen lugares que no disponen del servicio a pesar de tener una cantidad de habitantes considerable y de encontrarse en sitios estratégicos

Con el desarrollo del estudio y sus respectivos análisis en diferentes ámbitos tales como simulaciones, costos, infraestructura y beneficios representa una manera de promover el desarrollo de la cobertura de telefonía móvil y al acceso de las tecnologías de la información y comunicación en las zonas que carecen de estos servicios, así como también motivar una implementación futura del proyecto aquí realizado.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Realizar un estudio de ingeniería para implementar y evaluar por software una estación base dentro de la provincia de Chimborazo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el sector de interés mediante un estudio de demanda para la ubicación de la estación base.
- Determinar la tecnología de telefonía móvil que satisface de mejor manera las necesidades de la población beneficiada.
- Especificar los equipos y elementos adecuados para una correcta implementación que cubra las necesidades del proyecto.
- Realizar simulaciones de conexión y cobertura utilizando herramientas de software para encontrar los parámetros óptimos.
- Definir el presupuesto económico estimado para la implementación del proyecto de cobertura celular.

## **CAPITULO I**

### **1. MARCO TEORICO**

#### **1.1 Comunicaciones móviles**

Las radiocomunicaciones son aquellas en las que se transmite información sin necesidad de enlaces físicos, siendo la atmosfera el medio de transmisión de ondas electromagnéticas que ocupan una porción del espectro radioeléctrico de acuerdo con el tipo de comunicación que se realice; al utilizar este tipo de comunicaciones el ahorro en cableado y el beneficio de movilidad son evidentes. (López,2000, p. II)

En este tipo de comunicaciones se distingue dos grupos principales: sistemas de servicio fijo y sistemas de servicio móvil. Los sistemas fijos son aquellos que establecen comunicación entre una estación central fija con un receptor fijo o con varios puntos fijos determinados, usualmente son utilizadas para la transmisión de TV, servicios de voz, y datos. Los servicios móviles se comunican entre estaciones móviles, o con una o varias estaciones fijas. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2018a)

Las comunicaciones móviles principalmente describen escenarios de enlaces de radiocomunicación entre dos terminales en el cual no se emplea algún medio físico para la transmisión, en dichos escenarios debe existir al menos un terminal que se encuentre en movimiento o se mantenga fijo en emplazamientos no determinados, pudiendo el otro terminal ser fijo como es el caso de una estación base. (López,2000, p.27)

Los sistemas de comunicación móvil según la ARCOTEL y de acuerdo con el lugar en el que se sitúa el terminal móvil se clasifica en: servicio móvil terrestre, móvil marítimo, móvil aeronáutico.

##### **1.1.1 *Composición de un sistema de comunicaciones móviles***

Un sistema de comunicaciones móviles está formado por el conjunto de 3 elementos principales: Estaciones Fijas, Estaciones Móviles y Equipos de Control.

#### **1.1.1.1    Estaciones Fijas**

Estas estaciones son aquellas cuyo uso no está previsto que sea en movimiento, generalmente se conforman de un cuarto de equipos y una torre o torreta para situar los elementos radiantes, de acuerdo con López (2000, p.31) se pueden distinguir tres tipos de estaciones fijas:

*Estaciones de Base.* - Son estaciones radioeléctricas fijas que sirven de fuente o destino de tráfico, cuyo funcionamiento es controlado desde una unidad de control ubicada en un emplazamiento específico, el control se lo realiza de manera local o remota. Las estaciones base pueden suministrarse con unidades de transmisión y/o recepción separadas o juntas.

*Estaciones Repetidoras.* - Estas estaciones se encargan de retransmitir señales electromagnéticas para lograr un objetivo de cobertura; el más común es la expansión de una red de comunicación.

*Estaciones de Control.* - Estaciones que administran el funcionamiento de las estaciones base o repetidoras de un emplazamiento.

#### **1.1.1.2    Estaciones Móviles**

Son aquellas estaciones ya sean radioeléctricas o terminales, previstas para su uso en movimiento; se distingue dos estaciones móviles principales:

*Estaciones Portátiles.* - Son estaciones con características de portabilidad personal, es decir acompañan al usuario, también se los conoce como equipo de mano.

*Estaciones Móviles.* - Es una estación radioeléctrica de servicio móvil prevista para su uso en un vehículo en marcha, o que efectúe paradas en puntos indeterminados, a costa de limitaciones de funcionamiento debido a la autonomía de baterías.

#### **1.1.1.3    Equipos de Control**

Los equipos de control son aquellos necesarios para automatizar y de cierto modo dar inteligencia a la red, por ende, le dan el carácter de sistema al conjunto de estaciones base repetidoras y de control. Las funciones principales de los equipos de control es la de generar, recibir y transferir llamadas, localizar equipos y usuarios, en redes de datos se encargan de direccionar los paquetes, limitar el uso, reportar anomalías entre otras.

### **1.1.3    *Principales agentes involucrados en sistemas de comunicaciones móviles.***

Para entender de mejor manera lo que ocurre en el ámbito de las comunicaciones es importante conocer las entidades y organismos que actúan en dicho escenario.

#### **1.1.3.1    *Reguladores, nacionales e internacionales***

Las comunicaciones móviles utilizan como recurso el espectro radioeléctrico, que al ser un bien público y escaso debe ser administrado, regulado y controlado bajo normas de organismos tanto nacionales e internacionales que aseguren el acceso mediante una competencia igualitaria por obtener el derecho a utilizar y transmitir en ciertas porciones del espectro, asegurando así el buen uso de este recurso que está a disposición de los operadores.

A nivel mundial la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo más importante en lo referente a las TIC, y tiene por objeto contribuir globalmente al desarrollo económico y social mediante la inclusión de la mayor cantidad de personas al acceso a la información y comunicación, la UIT abarca tres sectores fundamentales: Normalización, Desarrollo, y Radiocomunicaciones. (Aseta, 2012)

El sector de Radiocomunicaciones (UIT-R) tiene como misión garantizar el uso racional, equitativo eficaz y económico del espectro de frecuencias radioeléctricas para todos los servicios de radiocomunicaciones incluyendo los que utilizan orbitas de satélites, su desempeño es fundamental ante la creciente demanda y cada vez mayor, de servicios fijos, móvil, de radiodifusión, radioaficionados, investigación espacial, meteorología, entre otros. (Aseta, 2012)

Debido al crecimiento en la demanda de servicios, la ITU-R tiene como objetivo principal, el garantizar el funcionamiento sin interferencias, esto se logra mediante la aplicación del Reglamento de Radiocomunicaciones y Acuerdos Regionales, los cuales se actualizan a través de los procesos de las Conferencias Mundiales y Regionales. Así también se estudian las maneras de conservar el espectro y garantizar flexibilidad para una futura expansión. (ITU, 2018)

A nivel nacional El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), es el representante del estado ante Organismos Internacionales; se encarga principalmente de apoyar los procesos de mejoramiento de servicios ofertados por los actores del sector de telecomunicaciones, asegurar el acceso igualitario a servicios de telecomunicaciones y promocionar la Sociedad de la Información y del Conocimiento y las TIC. (Aseta, 2015)

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) es una entidad adscrita al MINTEL, se encarga principalmente de la administración, regulación, gestión y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico, así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes. (Aseta, 2015)

Otras entidades adscritas y relacionadas al Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la información (MINTEL) son: Agencia de Regulación y Control Postal (ARCPPostal), Dirección Nacional de Registro de Datos Públicos (DINARDAP), Dirección Nacional de Registro Civil, Identificación y Cedulación (DIGERCIC), Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), y Correos del Ecuador E.P. (Ministerio de Telecomunicaciones, 2018b)

#### **1.1.3.2** *Fabricantes de equipos de red.*

Este tipo de fabricantes se enfocan en la creación de equipos destinados a la creación de las redes de telefonía para que algún operador pueda ofrecer servicios a través de ella, debido a la estandarización técnica abierta el mercado de equipos de red ha crecido y se mantiene en una constante competencia global en la que las empresas grandes siguen trascendiendo, como es el caso de Huawei, Cisco, Ericsson, Alcatel-Lucent entre otras.

#### **1.1.3.3** *Fabricantes de terminales*

Los terminales móviles en la actualidad se han convertido en un objeto de consumo al alcance de la mayoría de las personas, dependiendo de la región en la que habiten, pues en países de primer mundo el acceso a ellos es de la mayoría de los habitantes, sin embargo, en economías no tan desarrolladas no existe la misma demanda.

Los fabricantes ofertan terminales de diferentes gamas: baja, media y alta; las empresas que más terminales venden son aquellas que ofrecen variedad en relación costo-beneficio, gracias a esto pueden ingresar en cualquier mercado y obtener la mayoría de los usuarios, como es el caso de Samsung que es el más grande fabricante de terminales y se mantiene líder en el mercado.

La diferencia entre gamas de terminales se debe al tipo de especificaciones físicas y técnicas de los dispositivos siendo mejores aquellos que sean fabricados con materiales de alta calidad o “Premium” y ofrezcan prestaciones actuales en software y tecnologías de comunicación como es



GPS, conexión a redes inalámbricas y por supuesto el tipo de tecnología celular soportada: GSM, UMTS, o LTE.

#### **1.1.3.4** *Proveedores de sistemas operativos*

Actualmente existen dos sistemas operativos dominantes, uno privado perteneciente a Apple y que solo está incluido en los dispositivos (iPhone) fabricados por esta empresa, y un sistema libre de código abierto propiedad de Google que se lo puede encontrar en la mayoría de las marcas de fabricantes de Smartphones. (Rábanos et al, 2015, p.38)

#### **1.1.3.5** *Proveedores de aplicaciones y servicios*

Dado que la programación no requiera de grandes inversiones iniciales, se puede decir que el número de proveedores de aplicativos es innumerable; la mayoría de los servicios ofrecidos mediante aplicaciones requiere de la red móvil y su conexión a la red mediante datos. El catálogo de aplicaciones es inmenso, resaltando entre ellas las que ofrecen conexión a las principales redes sociales, servicios de voz IP, streaming, de audio y video, ubicación, mensajería instantánea entre otros.

#### **1.1.3.6** *Operadores con red propia*

Son aquellos operadores que despliegan su red de comunicación móvil al obtener una *licencia de uso de espectro* que lo habilita para operar en alguna de las bandas designadas a este tipo de servicio. La extensión y crecimiento exponencial de las redes móviles han provocado que las bandas que usualmente se utilizan sean muy demandadas, a consecuencia de esto los procesos de licitación se tornan cada vez más competitivos.

La misión de las operadoras consiste en tener lista y activa la infraestructura de telecomunicaciones para el tránsito de tráfico de llamadas y/o datos de los abonados asegurando un buen servicio que sea competitivo en el mercado nacional; en Ecuador las principales operadoras con red propia son CONECEL S.A. (Claro), OTECEL S.A. (Movistar) y La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

### **1.1.3.7**    *Operadores móviles virtuales*

Debido al número limitado de operadores móviles con red propia, en países de gran población se implementa a manera de promover la competencia en el mercado las operadoras móviles virtuales, estas funcionan usando la infraestructura ya establecida de una operadora que se encuentra en servicio, dichos operadores prestan sus servicios mediante un acuerdo establecido en el ceden el poder de usar las redes a un costo de mayorista.

### **1.1.3.8**    *Clientes y Usuarios*

Los usuarios son aquellos que adquieren tanto un dispositivo móvil a través de un distribuidor autorizado ajeno a las operadoras móviles o directamente de ellas incluyendo también la suscripción del servicio de telecomunicaciones. La elección del dispositivo o el tipo de suscripción varían estrictamente de acuerdo con la necesidad del cliente final, diferenciando dos tipos principales: prepago y pospago.

## **1.2**        **Sistemas de telefonía Celular**

Las redes de telefonía celular se basan en una estructura que conecta a los terminales móviles con el sistema celular mediante una serie de estaciones base en diferentes emplazamientos, estas dependes de un sistema de conmutación, que interconectan las estaciones bases y a su vez permiten la conexión del sistema a la red pública.

La conexión vía radio de los terminales móviles es controlada por la estación base, de esta manera es posible localizar permanentemente a los abonados que están en la red celular. Por otro lado, la conexión entre terminales móviles o entre estos y la red de telefonía fija se da en el central de conmutación de móviles. Entre las características más importantes de un sistema celular están:

- Gran capacidad de usuarios
- Calidad telefónica similar al servicio de telefonía fija.
- Conmutación automática de radiocanales
- Posibilidad de expansión.
- Amplia cobertura
- Utilización eficiente del espectro
- Gran movilidad

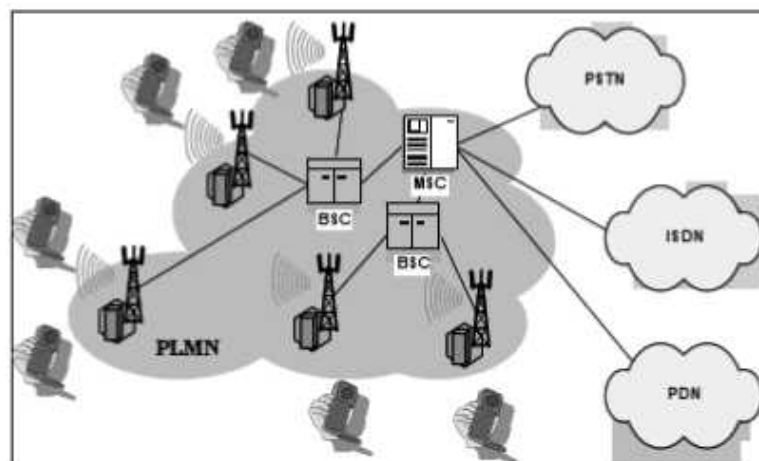
Los sistemas celulares para ofrecer servicio dividen sus áreas de coberturas en zonas más pequeñas o células, estas teóricamente son de forma hexagonal y corresponden al alcance que posee una estación radio; estos sistemas deben asegurar la continuidad de la comunicación en el caso de que un abonado este en movimiento y deba cambiar de celda constantemente; a este proceso se lo conoce como (*handover*).

Debido a la cantidad de usuarios registrados en una red y las limitaciones de capacidad de los canales en el espectro radioeléctrico, los sistemas celulares suelen reusar frecuencias mediante la agrupación de células, a estas agrupaciones se las conoce como clústeres y su tamaño depende del plan de reúso de frecuencia que se desee aplicar.

El número de canales de radio disponibles se distribuye en este grupo de células, de manera que esta distribución se repite en toda la zona de cobertura. Así el espectro de frecuencias puede volver a ser reutilizado eficientemente en todas las células, siempre teniendo cuidado de evitar las interferencias entre las células próximas. (Figuroa, 2008, p.48)

### 1.2.1 Elementos principales de la red celular básica

En la figura 1-1 se representan los elementos principales de una red celular.



**Figura 1-1:** Elementos de una red celular

**Fuente:** (Figuroa, 2008, p.48). Introducción a los sistemas de telefonía celular

#### 1.2.1.1 Móviles

Son dispositivos electrónicos de comunicación dotados de un transceptor de radio, unidad lógica, unidad de control y la antena, su portabilidad ofrece al usuario la posibilidad de realizar y recibir

llamadas a través de una portadora de radiofrecuencia, mientras el abonado se encuentra en movimiento, o en algún punto fijo no determinado, siempre y cuando se encuentre dentro de la zona de servicio del operador móvil en el que esté registrado.

Los teléfonos móviles han evolucionado con el pasar de los años, los primeros modelos en el mercado emulaban el servicio convencional, al permitir realizar y recibir llamadas, al ofrecer un servicio parecido al existente y con precios no tan flexibles para la época, no los hacían comerciales de forma masiva, restringiéndose el acceso en la mayoría de los casos a ciertos grupos ejecutivos.

Los fabricantes desarrollaron cada vez más sus dispositivos y al mismo tiempo la competencia era mayor, por lo que los precios de los dispositivos fueron disminuyendo y cada vez la necesidad de comunicarse desde la palma de la mano se incrementó, de esa manera se innovaron nuevas formas de comunicación con los móviles que se mantienen hasta el día de hoy, como la posibilidad de enviar mensajes de texto y navegar por internet.

#### **1.2.1.2    *Estación Base***

La estación base provee la interfaz entre el MSC y terminales móviles. En ella se encuentran la unidad de control, gabinetes de radio, antenas, una planta de alimentación y terminales de datos. Es un control central para todos los usuarios de la célula. Se compone de: un transceptor de radio, un amplificador de potencia, la unidad de control y la antena. (Gutiérrez y Rojas, 2016: p.25)

#### **1.2.1.3    *MSC***

El MSC es un producto de conmutación digital para telefonía celular. Tiene diferentes denominaciones tales como Digital Multiplex Switch - Mobile Telephone Exchange (DMS-MTX), Mobile Switching Office (MTSO). El nombre depende del fabricante.

Provee varias funciones celulares:

- Administra y controla el equipo y las conexiones de las estaciones base.
- Soporta varias técnicas de acceso múltiple como: AMPS, TDMA, CDMA y CDPD.
- Proporciona la interfaz con la PSTN.
- Proporciona t administra el Registro de Ubicación de Usuarios Locales o Home Local Register (HLR)
- Soporta interconectividad entre sistemas

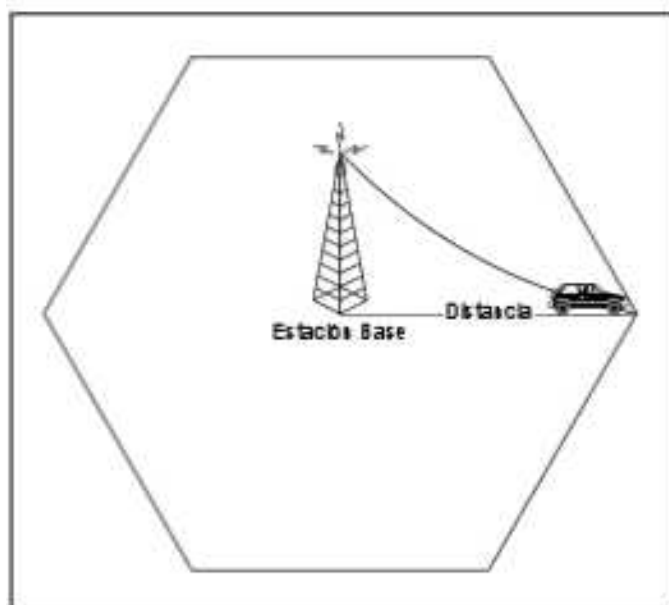
- Soporta funciones de procesamiento de llamadas
- Proporciona la medición y monitoreo de operaciones, así como facturación. (Figueroa, 2008, p.50)

### 1.2.2 Celda

La celda de una red se la puede considerar como el área geográfica en la que se brinda el servicio de telefonía móvil mediante señales de radiofrecuencia que son transmitidas desde la estación base que regularmente se ubica en el centro de dicha celda; las celdas teóricamente tienen forma hexagonal, triangular u otras, sin embargo, en la realidad no son exactamente polígonos regulares. La forma y tamaño de la celda dependen de varios parámetros:

- Potencia de transmisión.
- Ganancia y patrón de la antena.
- Ambiente de propagación.

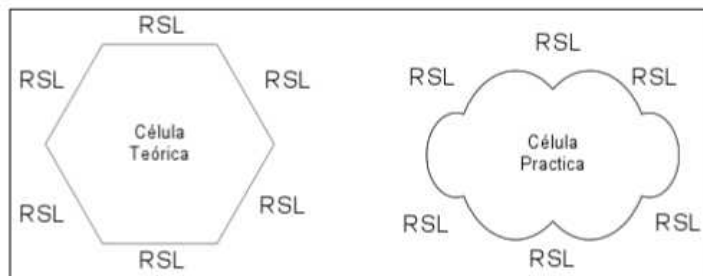
Para determinar los límites de una celda se suele utilizar el Nivel de Recepción de la Señal; que marca la potencia mínima de recepción en el abonado, en la Figura 2-1 se observa como la potencia de la señal es inversamente proporcional a la distancia entre el móvil y la estación base. Cuando la comunicación presenta cierta cantidad de pérdidas, se dice que el móvil se encuentra en los límites de la celda y podría interrumpirse la comunicación. (Figueroa, 2008, pp.50-51)



**Figura 2-1:** Área de cobertura teórica de una celda celular  
**Fuente:** (Figueroa, 2008, p.51). Introducción a los sistemas de telefonía celular

### 1.2.2.1 Celda práctica y analítica

Las celdas en la práctica son muy irregulares por lo que para el estudio y planeación de sistemas celulares se usan las celdas teóricas, como se observa en la Figura 3-1, la diferencia entre los modelos prácticos y analíticos se los diferencia en los bordes, se suele utilizar la forma hexagonal debido a que es la mejor aproximación a un círculo. (Figueroa, 2008, p.52)



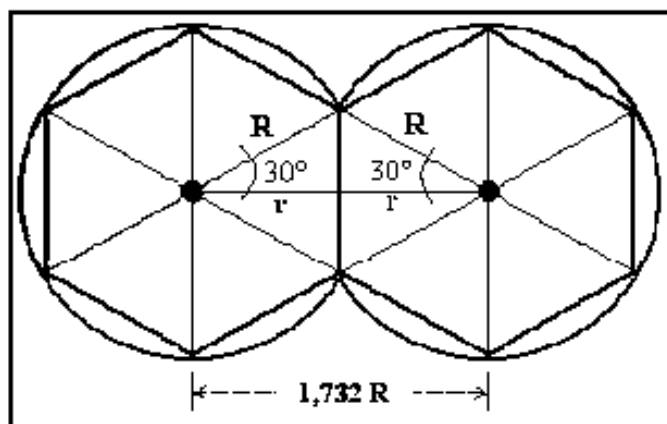
**Figura 3-1:** Gráficos de una celda teórica y práctica

**Fuente:** (Figueroa, 2008, p.52). Introducción a los sistemas de telefonía celular

La distancia entre dos celdas hexagonales está dada por la fórmula:

$$2 * r * \sqrt{3} * R$$

En la figura 4-1 se representa lo expresado en la formula anterior.



**Figura 4-1:** Grafico de la Ecuación

**Fuente:** (Figueroa, 2008, p.48). Introducción a los sistemas de telefonía celular

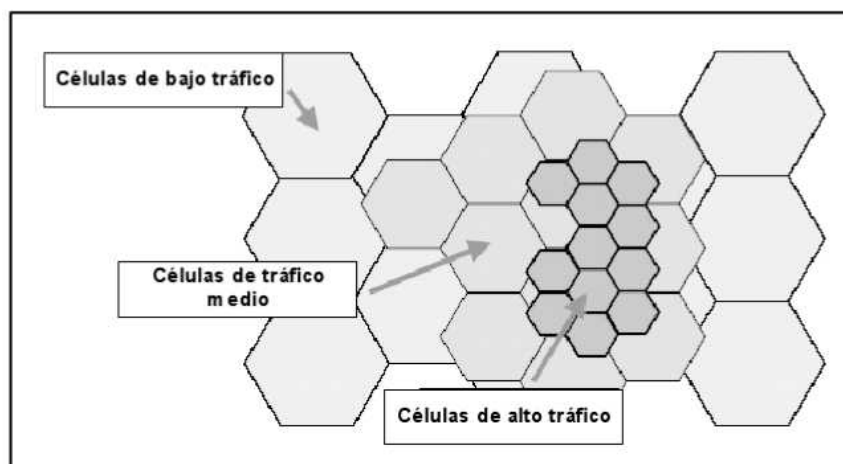
En la figura se puede observar que al juntar dos celdas de manera adyacentes los círculos que inscriben a cada celda hexagonal se solapan, si bien teóricamente el límite de los hexágonos se asemeja a una sola línea, las celdas prácticas que se parecen más a un círculo ofrecen ese

solapamiento como ventaja para introducir el handover permitiendo la continuidad de la comunicación cuando el usuario se traslada de una celda a otra.

### 1.2.2.2 *Tamaño de las celdas*

Un aspecto importante que influye en el tamaño de las celdas y que se relaciona directamente en la formación de los clusters, es la cantidad de tráfico; esto provoca la disminución del tamaño de las celdas ya que si el tráfico es elevado se utilizará una cantidad mayor de radiocanales, por lo que el ancho de banda no será suficiente para la misma cantidad de abonados. Esto provoca que el número de clusters y la reutilización de frecuencias sean mayor. (Figuerola, 2008, p.55)

En la Figura 5-1 se puede apreciar como el tamaño de las celdas varían inversamente en relación con la cantidad de tráfico.



**Figura 5-1:** Diferentes tipos de cobertura celular en función del tráfico

**Fuente:** (Figuerola, 2008, p.56). Introducción a los sistemas de telefonía celular

Existen diversos tamaños, que pueden cubrir desde áreas mayores a 35 Km hasta menores de 50 m. Una célula se define por:

- Tamaño físico.
- Tamaño de la población.
- Patrones de tráfico de la zona urbana.

El tamaño de las células no es fijo, y para poder trabajar con un área de cobertura, debemos dividirla y estructurarla. Es por esta situación que se utilizan las células hexagonales y los diferentes tamaños de éstas como se presenta en (Figuerola, 2008; García et al, 2014):

a) *Megaceldas*. - Las megaceldas son las de más amplia área de cobertura, soportan un radio mayor a los 35 Km. Estas celdas se establecen en zonas en las que el tráfico es muy bajo o se presenta de manera ocasional. Este tipo de celdas se las puede encontrar en ambientes rurales o en coberturas de carreteras, estas celdas permiten cubrir una gran área con una sola estación base.

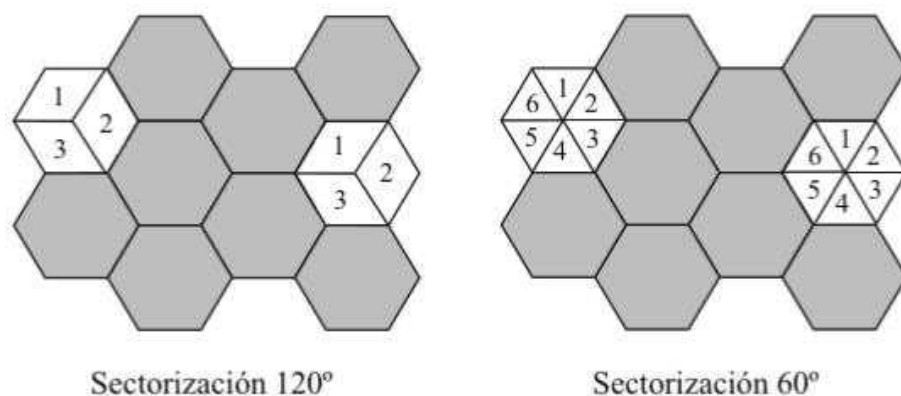
b) *Macrocelas*. - Estas celdas abarcan un rango de 1 a 35 Km. Están diseñadas y varían su tamaño con respecto al tráfico de la región. Regularmente se establecen en ambientes urbanos poco densos, así como en ambientes rurales con una cantidad de tráfico considerable. Estas celdas proveen servicios en ambientes outdoor (exterior) y vehiculares.

c) *Microcelas*. - Este tipo de celdas pueden variar a menos de 1 Km. Son capaces de soportar ambientes urbanos intensos indoor/outdoor (interior/exterior). Está claro que, para poder proveer estos tamaños, es necesario un exhaustivo estudio probabilístico y estadístico, así como una buena planificación del sistema celular, a fin de lograr un buen reuso de frecuencia.

d) *Picoceldas*. - Están diseñadas para ambientes urbanos intensos y ambientes indoor, llegan a medidas de menos de 50 m.

### 1.2.2.3 Sectorización de las celdas

En la mayoría de los casos para incrementar la capacidad de la red, aparte de reducir y aumentar el número de celdas se opta por dividir en sectores las celdas para mejorar el reuso de frecuencias en situaciones con tráfico muy denso. La señal en cada sector es provista mediante antenas direccionales que transmiten en frecuencias distintas en cada sector que dependiendo del tipo de sectorización cubren un rango determinado de grados. Las sectorizaciones más usadas son las de  $120^\circ$  y  $60^\circ$  (Figura 6-1) que dividen a cada celda en 3 y 6 sectores respectivamente. (García, 2014, p.11)

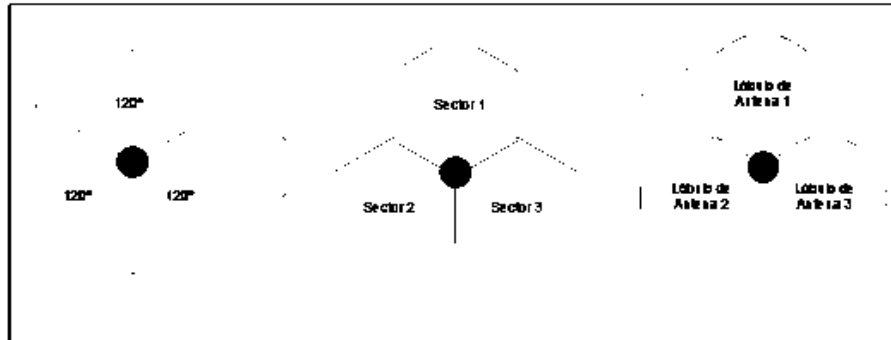


**Figura 6-1:** Tipos de sectorización más comunes.

**Fuente:** (García, 2014, p.11). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación



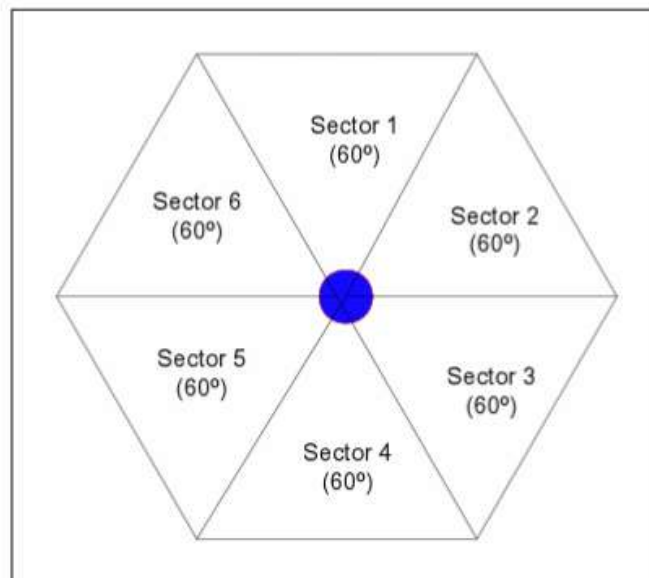
La sectorización de  $120^\circ$  también conocida como sectorización triple reduce por tres el número de estaciones interferentes en el caso de utilizar un patrón  $k=7$ . Este tipo es el más utilizado en la planificación celular, en la figura 7-1 se pueden observar sus variantes.



**Figura 7-1:** Sectorización de  $120^\circ$

Fuente: (Figuerola, 2008, p.57). Introducción a los sistemas de telefonía celular

Por otro lado, las interferencias se reducen a un sexto de las iniciales usando la sectorización de  $60^\circ$ . Esta sectorización tiene más capacidad que una planeación de  $120^\circ$ , pero también mayor número de operaciones intracelulares, de acuerdo con lo mostrado en la figura 8-1. (Figuerola, 2008, p.58)



**Figura 8-1:** Sectorización de  $60^\circ$

Fuente: (Figuerola, 2008, p.58). Introducción a los sistemas de telefonía celular

De este modo, si es el número de sectores por célula, con la sectorización la relación portadora a interferencia es:

$$\frac{C}{I} = \frac{s}{6} q^\gamma = \frac{s}{6} (\sqrt{3k})$$

La relación C/I mejora en proporción a la cantidad de sectores por celda, gracias a esto es posible reducir el número de celdas en un clúster, manteniendo una relación C/I por encima de los límites planteados; en otras palabras, con una sectorización elevada es posible reducir el número de patrón de clusters, por ende, se asignaría un número mayor de radiocanales a los usuarios utilizando un mismo ancho de banda. (García, 2014, p.11)

### 1.2.3 Área de cobertura

Área de cobertura se entiende como la zona desde la cual es posible la comunicación entre un dispositivo móvil con las estaciones base y viceversa. Este parámetro es el principal para tener en cuenta al momento de diseñar la red de comunicaciones móviles; si bien lo óptimo es cubrir por completo las zonas, en algunas ocasiones esto no es posible por varias limitaciones, las principales son causadas por problemas de accesibilidad o falta de recursos técnicos o económicos.

La cobertura total o el máximo alcance radio de la red móvil está dada por la composición del alcance de cada una de las estaciones que conjuntamente cubren áreas urbanas o rurales y deben poseer un nivel de potencia aceptable para poder ser receptadas desde teléfonos móviles que tienen configurado un nivel mínimo o umbral de potencia necesario para recibir o realizar llamadas.

Figuerola (2008, p.53) expone que en general la cobertura de la celda depende de dos tipos de parámetros:

*Definidos por el Usuario.* Potencia de transmisión, altura de las antenas, ganancia de las antenas, ubicación de las antenas y direccionalidad.

*No Definidos por el Usuario.* Ambiente de propagación, colinas, túneles, vegetación, edificios y/o construcciones.

Ambos parámetros influyen enormemente sobre la cobertura de RF, sin embargo, los no definidos por el usuario son difíciles de predecir y varían de acuerdo con el lugar. Debido a estos parámetros es que las células en la práctica son muy irregulares en su cobertura.

Como punto de partida para realizar una cobertura se debe analizar el tamaño de la zona en cuestión, así también el entorno en el que se desplegará la red ya sea urbano, rural, semiurbano; teniendo en cuenta estos factores se planifica el tamaño y número de celdas requeridas; sin

embargo, la dimensión también se ve afectada de acuerdo con el tipo de tecnología a implementar, ofreciendo mayor alcance las redes básicas de segunda generación a diferencia de tecnologías 4G.

Debido a estas dificultades, se ha desarrollado modelos para predecir la propagación de radio frecuencia tomando en cuenta los dos tipos de parámetros (sobre todo los no definidos por el usuario). Estos modelos son probabilísticos y estadísticos. Los más utilizados son:

*Okumura-Hata*. Para ambientes urbanos, suburbanos y espacio abierto.

*Walfish-Ikegami*. Para ambientes urbanos y urbanos densos.

La mayoría de las herramientas comerciales de predicción basadas en software, se basan en estos dos modelos, Okumura-Hata y Walfish-Ikegami. Estos modelos de predicción tienen fuertes fundamentos teóricos, pero también se basan en una gran cantidad de datos experimentales (muestras) y en análisis estadísticos. (Figueroa, 2008, p.54)

Existen diferentes métodos para predecir un área de cobertura, años atrás se realizaban estudios teóricos de cobertura con cartografía y radiales (tradicionalmente 12 separados 30° entre sí) con interpolación entre puntos leídos en el plano, en la actualidad estos han sido sustituidos por los programas de cálculo de cobertura sobre MDT (Modelos Digitales del Terreno), que brindan una mejor aproximación a los resultados reales. (Sendín, 2004, p.8)

#### **1.2.4 Planes de reúso de frecuencia**

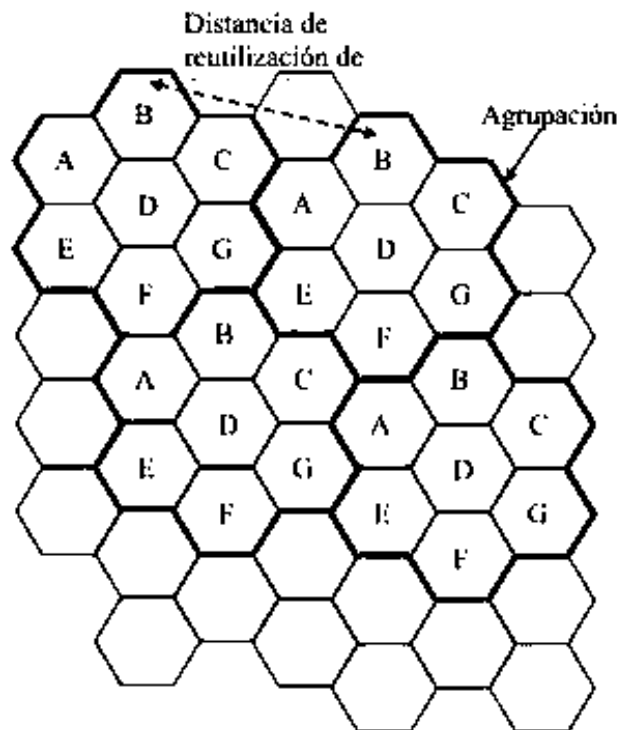
Si bien la división celular asegura y conserva la calidad de comunicación y aumenta el número de usuarios, los radiocanales disponibles son limitados, por ende, al intentar usar una sola estación base para cubrir un área extensa, la probabilidad de que existan bloqueos en el servicio es muy alta; una posible solución sería aumentar el número de radiocanales, pero esto no es una opción tan factible dado que el ancho de banda disponible es limitado.

Para aumentar el número de canales por unidad de superficie y así por unidad de población o por persona, lo que se suele hacer es una división celular más pequeña reduciendo el área en la que se emplean los radiocanales disponibles, de esta manera el número de transmisores en una zona se incrementa. Si bien el número de canales para una zona ya es capaz de satisfacer la demanda, esta solución aun es inviable pese a tener gran capacidad.

El hecho de tener varias celdas adyacentes operando en transmisión y recepción en una misma banda de frecuencias implicaría la aparición de interferencias principalmente en el caso de GSM, especialmente en los bordes de frontera de las celdas, esta situación sería inaceptable en todos los escenarios posibles, provocando que la calidad del sistema sea demasiado baja. Por ende, para

aplicar esta división celular se opta por la reutilización de frecuencias en celdas separadas a una distancia determinada.

Para reutilizar las frecuencias las celdas se agrupan en “clusters” que forman pequeñas zonas en las que se utilizaran todos los recursos disponibles, en la Figura 9-1 se muestra la división mediante clusters de 7 celdas, que obviamente tendrá 7 frecuencias diferentes para evitar interferencias dentro del clúster.



**Figura 9-1:** Agrupación de 7 celdas, y reutilización  
**Fuente:** (García, 2014, p.3). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

Suponiendo la primera división celular, la celda B de la Figura 9-1 tendría frecuencias similares que las celdas A, D y C de su grupo produciendo interferencias. Las celdas que emplean el mismo conjunto de frecuencias o de recursos del sistema se denominan celdas cocanal y están debidamente separadas para evitar interferencias cocanal. A la cantidad de celdas por grupo se le denomina patrón celular. (García, 2014, p.3)

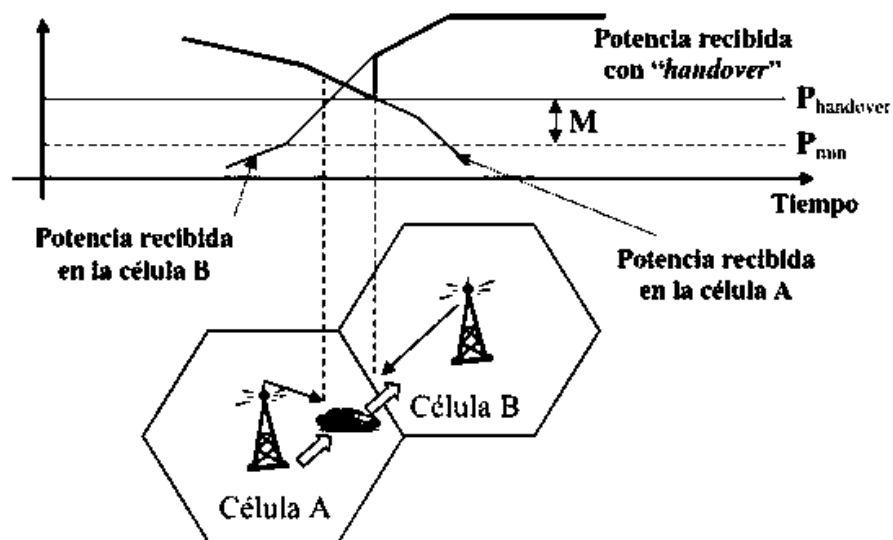
En el caso de sistemas UMTS no es necesario el reúso de frecuencias dado que usa tecnología CDMA, las interferencias que se pueden presentar en UMTS se producen al sobrecargar la celda, cuando esto sucede el tamaño de la celda se reduce para desconectar a los usuarios que se encuentran en los bordes, por el contrario, cuando existen pocos usuarios conectados la celda aumenta su tamaño.

### 1.2.5 Handover

Como ya se ha mencionado con antelación en un sistema celular se encuentran celdas aledañas que operan en diferentes frecuencias para evitar interferencias, por tal razón si un usuario se desplaza de una celda a otra que opera en una frecuencia diferente se desconectaría de la red y por ende la comunicación finaliza, conocido esto el sistema cuenta con un mecanismo que permite al usuario mantener la conexión durante el cambio de celda.

Este proceso de conmutación de llamada se denomina traspaso de llamada (“*handover*” o “*handoff*” en inglés), mediante el cual se le asigna una nueva frecuencia a la llamada, este mecanismo es de gran importancia en los sistemas móviles tanto así que, en varios algoritmos de asignación de canales, las peticiones de “*handover*” incluso tienen mayor prioridad que las peticiones de nuevas llamadas.

La asignación o no asignación de una frecuencia nueva en otra celda se basa en los niveles de potencia recibida en la estación base tal como se muestra en la Figura 10-1. En algunos sistemas como TACS se tiene en cuenta únicamente la potencia recibida en la estación base, mientras que en otros como GSM se tiene en cuenta tanto la potencia que recibe el móvil y la estación base; cabe recalcar que todo este proceso debe ser transparente al usuario. (García, 2014, pp.12-13)



**Figura 10-1:** Agrupación de 7 celdas, y reutilización

**Fuente:** (García, 2014, p.13). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

El handover principalmente se realiza cuando se requiere un cambio de celda, balance de carga y en otras ocasiones dentro de la misma celda sectorizada por mantenimiento. (Figuerola, 2008, p.59)

### **1.3 Generaciones de telefonía móvil**

Cuando la telefonía móvil empezaba a desarrollarse, varios países diseñaron sus propios sistemas, en algunos casos más de uno. Como era de esperarse varios inconvenientes surgieron, primero, la demanda del servicio móvil fue mayor a la capacidad que poseían las redes analógicas de la época. En segundo lugar, debido a la variada oferta de diferentes sistemas, no existía compatibilidad entre todos los usuarios de teléfonos móviles, limitando el alcance de la comunicación.

Debido a tales circunstancias se optó por diseñar nuevos sistemas de comunicación, los cuales, aparte de proveer de los servicios mínimos, deberían cumplir con requisitos previamente establecidos y ser compatibles entre sí.

#### **1.3.1 Primera Generación (1G)**

En la década de los 80's se desarrolló la primera generación de sistemas de comunicación móviles, si bien estas extendían varias redes de radio móviles en si no eran celulares, dado que aquellos sistemas se basaban principalmente en una sola antena con una cantidad limitada de canales que estaban disponibles hasta ese entonces y trataban de brindar servicio a todos sus usuarios. (Figuerola, 2008, p.14)

En esta primera generación se utilizaron técnicas de transmisión analógicas, con sus servicios limitados, en su mayoría, a voz. La ventaja de esta era la fácil construcción de los equipos, sin embargo, presentaba demasiados inconvenientes, entre ellos destacan:

- Se percibía como “ruido” en el dispositivo del receptor cualquier alteración que sufriese la señal en el medio.
- El servicio de telefonía móvil fue costoso y exclusivo dado que cada transmisión ocupaba demasiado espacio en el espectro.
- Las baterías de los terminales móviles no tenían suficiente autonomía debido a la transmisión de señales de mucha potencia.
- El único servicio en la época era de voz.
- Baja seguridad al realizar una llamada, con la posibilidad de intrusión de un tercero en el instante de comunicación.

En esta primera generación se desarrollaron varios estándares entre los más utilizados se encuentran: NNMT, AMPS, CDPC, MOBITEK, DATATAC. (González, 2014, p.15)

### **1.3.2      *Segunda Generación (2G)***

El empleo de nuevas técnicas digitales para realizar la transmisión de información dio paso a lo que se denomina la segunda generación de sistemas celulares. El cambio de analógico a digital instauro una gran brecha entre la primera y la nueva generación, principalmente a la mayor capacidad que esta ofrecía.

En estos sistemas se consigue que varios usuarios puedan utilizar de manera simultánea un canal de frecuencia que se divide, gracias a técnicas digitales de división por tiempo o código. Haciendo uso de dichas técnicas digitales un espacio de tiempo muy pequeño se divide entre varios usuarios. Al emplear tiempos muy pequeños el proceso de compartición de canal es transparente al abonado, quien no nota la división.

Un avance importante en esta generación se presenta en la modificación de la estructura de las celdas, dividiendo así la zona de cobertura en macro, micro y pico celdas; los estudios se realizan dependiendo del área a cubrir y los requerimientos de tráfico esperado; aumentando aún más la capacidad de estos sistemas. (Figuerola, 2008, pp.15-16)

Esta segunda generación entro en funcionamiento en 1991, destacando cuatro estándares principales: GSM, D-AMPS, CDMA y PDC. De estos cuatro GSM ha tenido más éxito, expandiéndose en Europa y rápidamente por el mundo, llegando a tener en 2005 el 71% del total de los usuarios de telefonía celular a nivel mundial. Las ventajas que ofrecen estos sistemas según Figuerola (2008, p.16) son:

- Mayor calidad de voz.
- Menores costos de operación de las terminales.
- Mayor nivel de seguridad.
- Roaming internacional.
- Soporte para terminales de menor potencia.
- Mayor variedad de servicios.

### **1.3.3      *Segunda Generación Avanzada (2.5G)***

La evolución de los sistemas 2G a 2.5G se basa en los servicios que estos ofrecen a los usuarios enfocándose de manera especial en incrementar la capacidad de transmisión. Dichos servicios se suman a la infraestructura ya desarrollada en 2G y se clasifican en 3 tipos principales: teleservicios, servicios portadores, y servicios suplementarios.

En el caso de GSM la baja tasa de transmisión no permitía proveer los servicios antes mencionados, por lo que 2G se caracteriza por utilizar conjuntamente una o varias de las siguientes tecnologías: HSCSD, GPRS, GSM-EDGE. Las mismas que se describen según Figueroa (2008, pp.17-18):

**HSCSD.** - Esta tecnología permite incrementar la velocidad de una manera más sencilla en comparación de las demás. Esta técnica utiliza más de un slot de tiempo para la conexión, así logra multiplicar la tasa de transferencia a un múltiplo entero de 9,6 Kbps, brindando al sistema capacidad para aplicaciones de tiempo real. Este método es el más económico, pues sólo requiere un software que sea capaz de manejarlo, y obviamente, teléfonos con el soporte necesario.

La desventaja de HSCSD se presenta en el costo de los recursos del sistema, pues se hace uso de los slots de tiempo, incluso cuando no se transmite ningún tipo de información, lo cual en sitios con tráfico elevado es casi imposible de mantener, estos hechos han generado que esta técnica no se usa en forma generalizada.

**GPRS.** - Consigue aumentar las tasas de transmisión hasta 115 Kbps sin tomar en cuenta la corrección de errores, esto es algo equivalente a una trama de 8 slots. Uno de los puntos fuertes de esta tecnología se da gracias a que es un sistema por conmutación, por lo tanto, los recursos del sistema solo usados solo cuando se transmite algún tipo de información.

GPRS es la opción para aplicaciones que no se dan en tiempo real, como correo electrónico o navegación por Internet. El uso de un sistema GPRS es mucho más costoso que HSCSD, ya que la red necesita nuevos componentes. Este salto fue necesario ya que, sin él, GSM no hubiera impactado como lo ha hecho. Incluso este sistema es ya una primera exploración dentro de lo que serían los estándares para la 3G.

**EDGE.** - En un principio fue diseñado solo para GSM, posteriormente fue utilizado por varios estándares. La idea que se propone en EDGE es la de un nuevo esquema de modulación llamado Octogonal Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase Octogonal – 8-PSK).

Esto no causa conflictos con la modulación Gaussian Minimum Shift Keying (Modulación de Desplazamiento Mínimo Gaussiano - GMSK) y sólo se necesita una actualización del software de la radio base. Aun así, el inconveniente viene en que sólo puede ser utilizado dentro de distancias cortas, ya que en grandes áreas de cobertura aún es necesario GMSK.



### **1.3.4 Tercera Generación (3G)**

La tercera generación surge de la necesidad creciente de una red celular que brinde más servicios con mayor velocidad. Básicamente en el lado del usuario la principal diferencia radica en el mayor ancho de banda que le permite acceder a internet con mejores tasas de transferencia, ampliando así la oferta de servicios en tiempo real, o de mensajería instantánea. (González, 2014, p.21)

Las redes de tercera generación suelen utilizar las mismas bandas de frecuencia de las redes de segunda generación. Para asegurar compatibilidad con redes existentes el ancho de banda considerado es de 5 MHz, lo cual permite a la red proveer tasas de bits de 144 Kbps y 384 Kbps con gran facilidad. Para IMT-2000 (comité encargado de definir las especificaciones de UMTS designado por la UIT) fueron propuestos una gran cantidad de sistemas, basados en diferentes tecnologías. (Figuerola, 2008, p.21)

Dentro de estos estándares propuestos, se destacan cuatro como principales contendientes para ser elegidos; UTRA-UMTS (WCDMA), CDMA2000, Enhanced-GSM (que incluye: HSCSD, EDGE, GPRS) y UWC-136/EDGE (estos dos últimos se basan en tecnología similar). (Figuerola, 2008, p.22)

### **1.3.5 Cuarta Generación (4G)**

LTE “*Long Term Evolution*” (Evolución a largo plazo) es como se le conoce al estándar de comunicación de cuarta generación de telefonía celular, este tipo de redes se basan puramente en el protocolo IP. La convergencia entre redes de cable e inalámbricas las establece como un sistema y una red. Esta tecnología posee un gran alcance al ser accesible desde teléfonos inteligentes, módems inalámbricos entre otros dispositivos móviles. (González, 2014, p.24)

A diferencia de generaciones anteriores esta ofrece elevadas tasas de transferencia, que tienen como velocidad mínima 100 Mbit/s cuando el receptor está en movimiento, llegando hasta 1 Gbit/s en reposo, siempre manteniendo una QoS de extremo a extremo de alta seguridad, el cual garantiza a la red ofrecer todo tipo de servicios ya sea de voz o datos, sin importar el momento, y el lugar con el mínimo costo posible. (González, 2014, p.24)

Las características principales de la cuarta generación según la UIT (2018) se presentan a continuación:

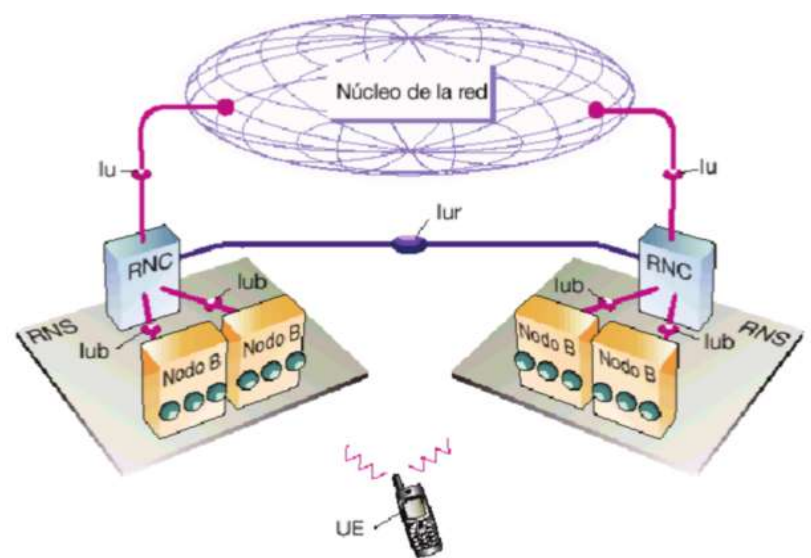
- Nuevas frecuencias, ancho de banda de canal de frecuencia más amplia.

- Tecnologías de multiplexación / acceso - OFDM, MC-CDMA, CDMA y LAS-Red-LMDS
- Ancho de Banda - 5-20 MHz, opcionalmente hasta 40 MHz
- Bandas de frecuencia: - LTE cubre una gama de diferentes bandas. En América del Norte se utilizan 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26, 30, 41); 2500 MHz en América del Sur; 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz en Europa (bandas 3, 7, 20); 800, 1800 y 2600 MHz en Asia (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40) 1800 MHz y 2300 MHz en Australia y Nueva Zelanda (bandas 3, 40).
- Servicios - acceso móvil web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, gestión de flujos múltiples de difusión y movimientos rápidos de teléfonos móviles, Digital Video Broadcasting (DVB), acceso a información dinámica, dispositivos portátiles.

#### **1.4 Descripción de la red UMTS**

La arquitectura general para sistema UMTS que se presenta en la Figura 11-1 consta básicamente de 3 bloques: la estación móvil o equipo de usuario, la red UTRA, denominada también como UTRAN (“UTRA Network”) y la red troncal (“Core Network”). (García, 2014, p.115)

Los elementos de una red UMTS se los puede relacionar con sus equivalentes en las redes GSM., las diferencias se encuentran en la capa de acceso, tanto BTS y BSC (GSM) se sustituyen por los Nodos-B y los RNC (“Radio Network Controller”), respectivamente; por tanto, se hace necesario desplegar una nueva red de acceso por radio (UTRAN). La UTRAN llega sólo hasta los RNS (“Radio Network Subsystem”), la red central no forma parte de ella y los Puntos de Acceso al Servicio Iu son las interfaces entre la red UTRA y la red central. (García, 2014, p.116)



**Figura 11-1:** Arquitectura de una red 3G UMTS

**Fuente:** (García, 2014, p.116). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

UTRAN se basa en CDMA, y posee 2 modos de funcionamiento: UTRA-FDD y UTRA-TDD:

- El modo UTRA-FDD o WCDMA permite que diferentes usuarios compartan la misma portadora al mismo tiempo, por ende, existe comunicación bidireccional que se lleva a cabo utilizando 2 portadoras (cada una de 5 MHz) en frecuencias distintas, una para el enlace ascendente y otra para el descendente.
- En el modo UTRA-TDD, para realizar la comunicación dúplex utilizando una única portadora se añade la división por tiempo empleando la técnica TDMA, es decir, se añade el recurso temporal (Time-slot) al código para diferenciar a un usuario de otro dentro de un mismo radiocanal.

#### 1.4.1 *Núcleo de la red*

El Núcleo de Red incorpora funciones de transporte (información y señalización) y de inteligencia (encaminamiento). Las primeras soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. El encaminamiento reside en las funciones de inteligencia, como la lógica y el control de ciertos servicios ofrecidos a través de una serie de interfaces bien definidas; también incluyen la gestión de la movilidad. (García, 2014, p.117)

Mediante el Núcleo de Red, UMTS conecta con diferentes redes de telecomunicaciones, de esta manera es posible comunicarse no solo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran en redes distintas.

### **1.4.2    *Red de Acceso UTRAN***

La red de acceso UTRAN proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red. Los elementos funcionales que la componen son:

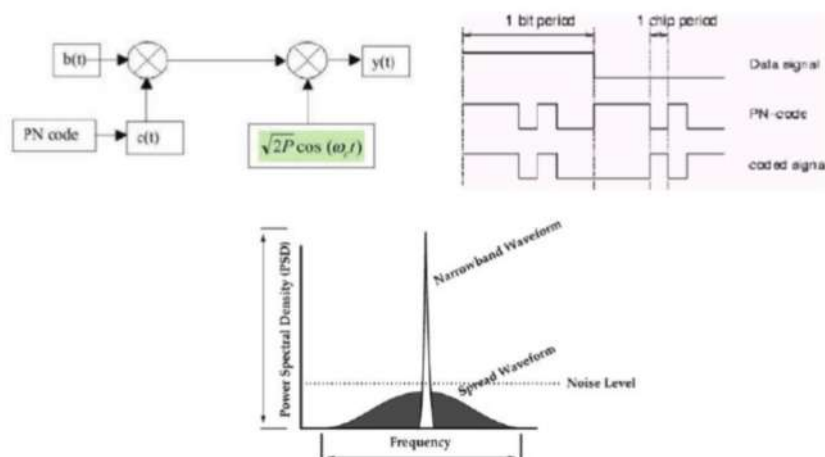
- Nodos B: Es el equivalente a la estación base de GSM, y es el responsable de la transmisión/recepción a/desde los terminales de usuario en una o más células.
- Controlador radio (“Radio Network Controller”): Controla uno o más Nodos B, controla el uso e integridad de los recursos radio, es responsable de las decisiones que requieren señalización a los terminales de usuario (UE) y tiene las funciones de separación/combinación la macro diversidad entre nodos B.

Las diferentes partes de la red UTRAN se interrelacionan con interfaces que están definidos por el 3GPP, siendo los principales:

- Interfaz Núcleo de Red- RNC (Iu)
- Interfaz RNC-RNC (Iur)
- Interfaz RNC-Nodo B (Iub)
- Interfaz radio (Uu)

#### **1.4.2.1    *Acceso al medio***

La técnica de acceso al medio en UMTS es DS-CDMA y consta de multiplicar a la señal en banda base con una secuencia conocida tanto en transmisión y recepción, y que posee una velocidad binaria mayor (un espectro de ancho de banda mayor que la de banda base). El producto es una señal de espectro ensanchado que modula a una portadora resultando una señal modulada que posee un ancho de banda 5MHz en UMTS, y se transmite al canal. (García, 2014, p.118)



**Figura 12-1:** Técnica de acceso al medio por multiplexación de código  
**Fuente:** (García, 2014, p.118). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

En la Figura 12-1 se puede observar el diagrama de bloques donde la señal útil  $b(t)$  se multiplica por la secuencia pseudoaleatoria (PN code), el datagrama en el tiempo de las señales originales y ensanchadas, y finalmente el ensanchamiento de la señal original en frecuencia (PSD); en la recepción se repite el proceso en sentido contrario. (García, 2014, p.118)

El nivel de ensanchamiento en la señal en banda base se denomina “Spreading Factor” (SP), que representa de igual manera la relación entre la duración de un bit de la señal en banda base y la duración de un chip de la señal ensanchada. Un chip denota un estado de la señal digital moduladora que resulta de multiplicar la señal digital en banda base por la secuencia con la que aumenta su velocidad. (García, 2014, p.118)

#### 1.4.2.2 Bandas de Funcionamiento

Las bandas de operación en UMTS, se encuentran alrededor de 2GHz, y las transmisiones se realizan en radiofrecuencia de 5MHz de ancho de banda, tanto en FDD como TDD. Así también existen dos tipos de uso del espectro para UMTS dependiendo del tipo de duplexación, en la tabla 1-1 se especifican las bandas pareadas (para FDD) y las no pareadas (para TDD). (García, 2014, pp.119-120)

**Tabla 1-1:** Bandas pareadas uplink y downlink para UMTS FDD y UMTS TDD

Banda de Operación	Bandas pareadas UMTS (FDD)		Bandas pareadas UMTS (TDD)
	Uplink	Downlink	Uplink y Downlink
I	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz	1900 -1920 MHz 2010 – 2025 MHz
II	1850 – 1910 MHz	1930 – 1990 MHz	1850 – 1910 MHz 1930 – 1990 MHz
III	1710 – 1785 MHz	1805 – 1880 MHz	1910 – 1930 MHz

**Realizado por:** PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

**Fuente:** (García, 2014, p.119). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

En la actualidad se utiliza de una forma generalizada el modo FDD. Éste recibe también el nombre WCDMA. La transmisión se identifica por la portadora y la secuencia multiplicadora. La modulación utilizada es QPSK. (García, 2014, pp.120-121)

#### 1.4.2.3 Capa Física

En UMTS cada trama dura 10ms, y contiene 15 intervalos, cada uno de ellos con 2560 chips. La velocidad de transmisión es de 3.84 Mchips/s. Las tramas se agrupan de 72 en 72 para formar una supertrama de duración 720ms. En la Tabla 2-1 se resumen las características de las tramas para UMTS. (García, 2014, p.121)

**Tabla 2-1:** Características de la capa física en UMTS

Modulación	Dual cannel QPSK para UL Balanced QPSK PARA dl
Modulación de datos	BPSK para el UL QPSK para el DL
Ensanchado	Códigos OVSF Factor de ensanchamiento de 4-256 para UL Factor de ensanchamiento de 4-512 para DL
Scrambling (Cifrado)	Scrambling complejo, códigos largos y cortos
Longitud de la trama	10ms
Tasa de Chip	Fija a 3,84 Mcps

**Fuente:** (García, 2014, p.121). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

#### 1.4.2.4 Canales

En UMTS según García (2014, pp.122-124) los canales se dividen en tres tipos, canales lógicos, de transporte y físicos.

**Canal lógico.** - Se definen por el tipo de datos que transmiten (Tabla 3-1).

- Canal lógico de control: Información del plano de control.
- Canal lógico de tráfico: Información del plano de usuario.

**Tabla 3-1:** Canales lógicos de la interfaz UMTS-FDD

BCCH (Broadcast Control)	Desc. Ctrl.	Difusión de información del sistema
PCCH (Paging Control)	Desc. Ctrl.	Envío de información de aviso cuando no se conoce su ubicación
CCCH (Common Control)	Bid. Ctrl.	Información de control de terminal situación desconocida
DCCH (Dedicates Control)	Bid. Ctrl.	Información de control a terminal específico
SHCCH (Shared Control)	Bid. Ctrl.	Info control TDD
DTCH (Dedicated Traffic)	Bid. Traf.	Trafico de un móvil específico
CTCH (Common Traffic)	Bid. Traf.	Tráfico punto - multipunto

**Fuente:** (García, 2014, p.122). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

**Canal de transporte.** - Reclasificación de los canales lógicos según cómo y con qué características se va a enviar por el medio físico (Tabla 4-1).

- Canal transporte dedicado
- Canal transporte común

**Tabla 4-1:** Uso y categorización de los canales de transporte FDD

BCH (Broadcast)	Compart Desc.	Difusión de información
FACH (Forward Access)	Compart Desc.	Envío tráfico o señalización a terminales situación desconocida
PCH (Paging)	Compart Desc.	Envío información a terminales situación desconocida
DSCH (Downlink shared)	Compart Desc.	Canal de asignación desconocida
RACH (Random Access)	Compart Asc.	Acceso aleatorio
CPCH (Common Packet)	Compart Asc.	Transmisión de paquetes
DCH (Dedicated)	Dedic. Bidir.	Envío datos o señalización a un terminal en concreto

**Fuente:** (García, 2014, p.123). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

**Canal físico.** - Formato concreto con que éstos se transmiten por el interfaz radio. Definido por: frecuencia, código de canalización, código de aleatorización, intervalo de tiempo de transmisión, fase relativa en enlace ascendente, número de slot (TDD), tipo de ráfaga (TDD). Los canales físicos se detallan en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1:** Canales físicos del modelo FDD

<b>P-CCPCH</b>	Soporta el BCH
<b>S-CCPCH</b>	Soporta FACH y el PCH
<b>PDSCH</b>	Soporta el DSCH
<b>PRACH</b>	Soporta el RACH
<b>PCPCH</b>	Soporta el CPCH
<b>DPDCH</b>	Soporta tráfico del DCH
<b>DPCCH</b>	Soporta señalización DCH
<b>CPICH</b>	Piloto referencia de potencia y base
<b>SCH</b>	Permite la sincronización
<b>AICH</b>	Notifica aceptación o rechazo del RACH
<b>AP-AICH</b>	Como AICH, pero del CPCH
<b>CSICH</b>	Informa disponibilidad del CPCH
<b>CD/CA-ICH</b>	Informa colisiones del CPCH y la asignación
<b>PICH</b>	Informan si decodifican el PCH

**Fuente:** (García, 2014, p.124). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

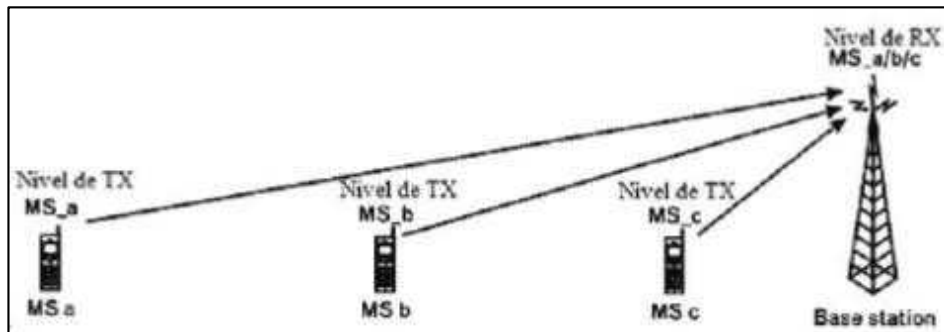
#### **1.4.2.5** *Control de potencia*

Existen dos estrategias de control de potencia: el control de potencia en lazo cerrado y el control de potencia en lazo abierto. En el caso de UTRA se necesita control de potencia en lazo cerrado que se divide en dos partes: el control de potencia interno o rápido y el control de potencia externo. La interacción entre los dos controles se basa en que a partir de la estimación de la señal recibida y de las condiciones de carga el control externo fija los umbrales de señal que el control interno se encarga de ajustar de forma precisa. (García, 2014, p.124)

El control de potencia en lazo abierto se basa en realizar una estimación aproximada de las pérdidas del canal a partir de la señal piloto del enlace descendente y a partir de ahí establecer las potencias de transmisión. UTRA usa este control para establecer la potencia de transmisión



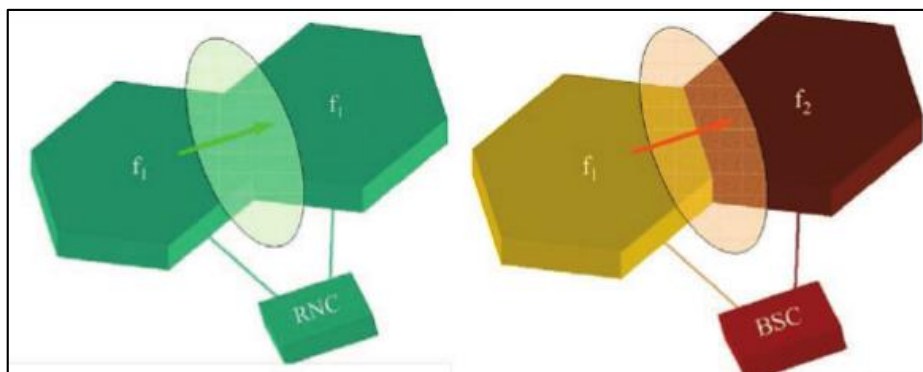
cuando una estación móvil inicia una conexión o en el caso de transmisiones de paquetes cortos. (García, 2014, p.125)



**Figura 13-1:** Control de potencia

**Fuente:** (García, 2014, p.125). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

Al usar UMTS el sistema CDMA, no es necesario que cada estación base trabaje a una frecuencia distinta, por lo que el handover que aparece se conoce como soft handover, en contraposición al hard-handover que se daba en GSM. En la Figura 14-1 se puede apreciar como en UMTS no es necesario tener frecuencias vecinas diferentes gracias a CDMA.



**Figura 14-1:** Soft handover y hard handover

**Fuente:** (García, 2014, p.125). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

### 1.4.3 Terminales móviles

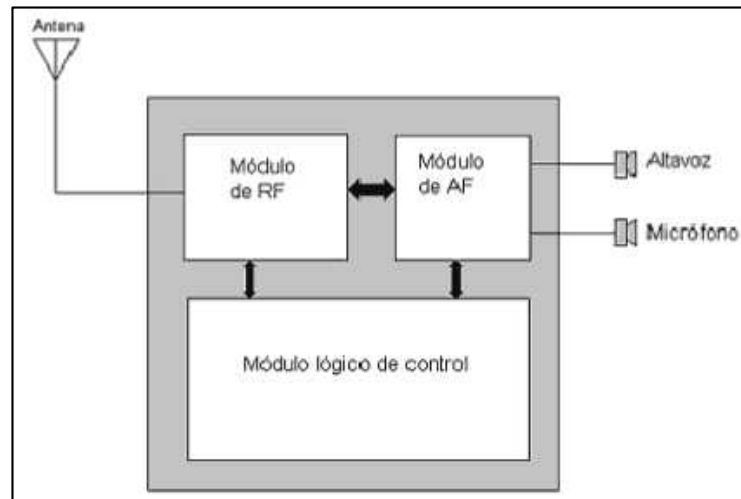
Los terminales móviles en UMTS como describe García (2014, pp.125-128) se dividen en dos dominios principales:

*ME* ("Mobile Equipment Domain")-. Es capaz de transmitir y recibir señal radio, es capaz de contener aplicaciones:

- MT ("Mobile Termination"): Operaciones del interfaz radio.
- TE ("Terminal Equipment"): Aplicaciones extremo a extremo.

*USIM* (“*User Identity Module*”). - Tarjeta extraíble. Datos y procedimientos para identificar al usuario frente a la red.

Como se observa en la Figura15-1 los terminales móviles se subdividen en tres módulos hardware que son: el módulo de radio (RF radio frecuencia), el módulo de audio (AF audiofrecuencias) y el módulo lógico de control (CPU).

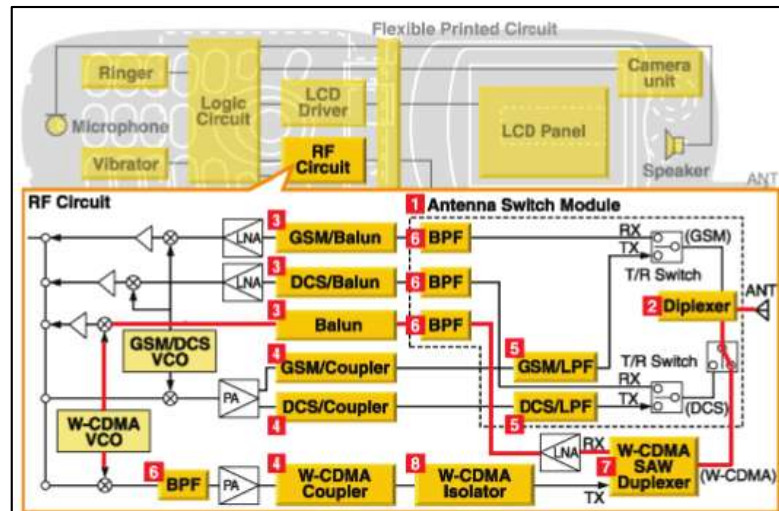


**Figura 15-1:** Módulos de un terminal móvil

**Fuente:** (García, 2014, p.126). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

El circuito receptor de RF filtra y demodula las señales recibidas. La salida del módulo de RF se aplica al módulo de AF. En el módulo de RF se filtran las señales de RF y se convierten a señales banda base analógica (parte transmisora). También en este módulo se filtran las señales analógicas en banda base y luego se convierten a señales de RF (parte receptora). (García, 2014, pp.126)

Las señales de voz provienen del módulo de AF y las señales de información provenientes de la unidad lógica de control se envían al circuito transmisor de RF que las coloca sobre la portadora de RF apropiada, las filtra, las amplifica y las aplica a la antena. La frecuencia portadora de RF está determinada por la celda particular en que se encuentre. En el siguiente dibujo podemos observar una visión detallada de los componentes de la sección de RF implementado en un móvil que usa red UMTS. (García, 2014, pp.126)



**Figura 16-1:** Bloques de un terminal UMTS

**Fuente:** (García, 2014, p.127). Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación

En el Figura 16-1 se aprecia el diagrama de bloques para GSM y el diagrama de bloques para W-CDMA (UMTS) implementado en el mismo terminal. En rojo se distingue el camino seguido en la recepción UMTS.

A continuación, se muestra los servicios disponibles en los terminales 3G:

- Llamadas de voz
- Roaming global
- Buzón de voz
- E-SMS, MMS
- Internet de alta velocidad
- GPS
- Videoconferencia
- Datos hasta 2 Mbps
- Tiempo de bajada 4 min MP3= 15sg-1.6min

#### 1.4.4 HSPA

High Speed Packet Access es una tecnología que aumenta las capacidades de UMTS, este es completamente compatible con la Release 99 ya que el mismo canal de voz y datos de UMTS puede ser usado simultáneamente para un canal de datos HSPA.

La tecnología aumenta el nivel de rendimiento de WCDMA para entregar servicios con un throughput teóricamente mucho mayor que las tecnologías predecesoras, la mayor eficiencia

espectral y la mayor capacidad de transferencia no solo nuevas aplicaciones, sino que también soporta una mayor cantidad de usuarios activos dentro de la red.

#### **1.4.4.1 HSDPA**

Mejora el rendimiento de la transferencia de datos hasta tasas teóricas de 14 Mbps, teniendo como despliegue inicial tasa de transferencia de 1 Mbps a 1.5 Mbps superando de 3 a 5 veces a UMTS reléase 99. La clave de HSDPA es incrementar tasas de transferencia por medio de las siguientes características:

- Short TTI

HSDPA hace el uso de canales denominados (HS-PDSCH), en donde se puede tener hasta 15 de estos canales en los 5 MHz de la portadora de WCDMA con un Spreading Factor de 16.

Las ráfagas de las transmisiones por cada usuario se asignan a un intervalo TTI corto de 2 ms, el cual es considerablemente más bajo a los de 10 ms a 20 ms que se usa en UMTS reléase 99 y esto se debe gracias a que los recursos con asignados en el dominio del tiempo (TTI) y códigos (HS-PDSCH) de manera más dinámica. Cada TTI es reasignado a diferentes usuarios e incluso cada usuario puede utilizar más de un TTI

- Fast Scheduling

HSDPA también incorpora es el sistema Fast Scheduling la cual decide a que usuario se le asignan los canales compartidos de mayor velocidad por cada instante, se hace un menor uso de TTI asignando canales a usuarios con las mejores condiciones instantáneas y se asegura un mínimo nivel de throughput.

- Modulación y Codificación Adaptativa (AMC)

La modulación 16 AQM también influye en la mejora de HSDPA con respecto a su predecesora en la que se transmite dos veces más la información por cada símbolo en comparación a lo que se tiene con QPSK. También se puede agregar la rápida adaptación de enlace (Fast Link Adaptation) la cual elige la modulación y tasa de codificación más apropiada en función de las condiciones del canal de radio

- Fast HARQ

Fast Hybrid ARQ también se destaca entre las mejoras, la cual se refiere al mecanismo aun mecanismo rápido del proceso de combinación de datos enviados de forma repetida a causa de errores con el objetivo de aumentar la probabilidad de éxito en la decodificación, reduce

significativamente los retardos asociados con retransmisiones de R99. El uso de la función HARQ es exclusiva del nodo B y no involucra a la RNC por lo que si un paquete de datos fallara solo tardaría la retransmisión desde el Nodo B con lo que se reduce el tiempo de retardo

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO METODOLOGICO**

#### **2.1 Telefonía celular en la provincia de Chimborazo**

La provincia de Chimborazo según el censo efectuado por el INEC en el año 2010 cuenta con una población de 458.581 (INEC, 2010, pp. 17), según las proyecciones de la misma entidad para el año 2018 se estima que la población llegue a 515.417. (INEC, 2010)

De acuerdo con la tabla 1-2, en el 2010 existían alrededor de 125407 hogares de los cuales el 58.3% tenían acceso a la cobertura de telefonía celular por parte de cualquiera de las operadoras que funcionan en el país. De acuerdo con los mapas de cobertura actualizados de las 3 operadoras con red propia al año 2018 (Anexos A-C) la tecnología 2G tiene la mayor cobertura territorial a lo largo de la provincia siendo esta la referencia de presencia del servicio.

La cobertura 3G es también bastante amplia, pero representa una menor área territorial que 2G, presenta los mejores niveles de cobertura principalmente en las cabeceras cantonales y los alrededores de la carretera E35 (Anexos D-F). La cobertura de 4G está presente en gran parte del área urbana de Riobamba por parte de las 3 operadoras y en una pequeña parte del área urbana del cantón Guano por parte de una de las operadoras (Anexos G-I).

##### **2.1.1 *Índice de Acceso a Telefonía Celular***

Según la tabla 1-2 se tiene que los cantones Colta, Guamote, Penipe, Alausí y Guano tienen los índices más bajos de acceso a cobertura de telefonía móvil en la provincia tomando como referencia la cobertura en los hogares existentes (INEC, 2010).

El cantón con mejor índice es Cumandá debido a que es el más pequeño y que además tiene una geografía donde prevalece el llano, le sigue la capital provincial Riobamba que al ser la más poblada obtiene los beneficios de cobertura no solo en la zona urbana sino en cada una de las parroquias rurales y comunidades que por la cercanía a la ciudad logran acceder al servicio.

El cantón Chambo al ser territorialmente pequeño y estar cerca de la ciudad de Riobamba obtiene una gran cantidad de cobertura, mientras que Pallatanga dispone de un buen índice ya que concentra su población alrededor de la cabecera y a que también es un cantón territorialmente pequeño, el mismo caso que Chunchi por el cual atraviesa la carretera E35 y por consiguiente el acceso a la telefonía celular es considerable por ser una zona de alto tránsito.

**Tabla 1-2:** Índice de acceso al servicio de telefonía celular en la provincia de Chimborazo

Cantón	Acceso		Total Hogares	Índice acceso Provincial	Índice acceso Cantonal
	Si	No			
RIOBAMBA	43392	18661	62053	0,346	0,70
ALAUSI	5433	5828	11261	0,043	0,48
COLTA	5255	9170	14425	0,042	<b>0,36</b>
CHAMBO	1815	1284	3099	0,014	0,59
CHUNCHI	1930	1429	3359	0,015	0,57
GUAMOTE	4293	6777	11070	0,034	0,39
GUANO	5736	5751	11487	0,046	0,50
PALLATANGA	1753	1276	3029	0,014	0,58
PENIPE	965	1177	2142	0,008	0,45
CUMANDA	2587	895	3842	0,021	<b>0,74</b>
<b>TOTAL</b>			<b>125407</b>	<b>0,583</b>	

Fuente: INEC, 2010

Los mapas de cobertura de cada una de las operadoras de telefonía celular en la provincia de Chimborazo actualizados (ver Anexos A al I) nos muestra que el alcance de cobertura territorial es bastante grande y que en la actualidad se tendrían índices mayores de acceso a la telefonía celular en comparación a los detallados por el INEC.

### 2.1.2 Análisis de los cantones de la provincia de Chimborazo con menor acceso

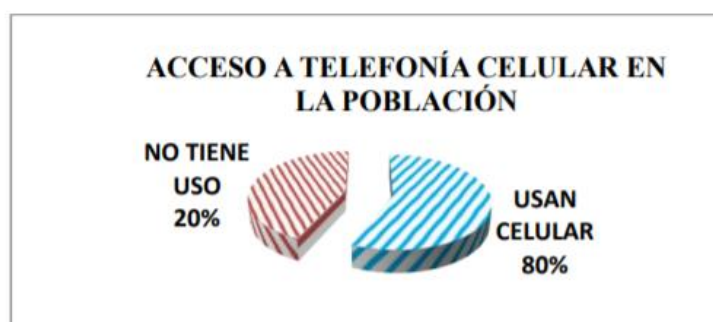
De acuerdo a que existe una mayor probabilidad de encontrar sitios con una población aglomerada y ausencia total del servicio de telefonía celular, se analiza los 5 cantones con mayor deficiencia de índice de acceso a la cobertura de telefonía móvil en la provincia de Chimborazo según el INEC en relación con hogares con falta servicio.

El análisis se lo realiza primeramente mediante la observación de los mapas de cobertura en donde se extrae las zonas que coincidentemente carecen totalmente del servicio por parte de las 3 operadoras y después mediante las imágenes satelitales provistas por Google y Microsoft se puede observar la presencia de aglomeraciones de asentamientos humanos dentro de estas zonas que carecen de cobertura.

### 2.1.2.1 Cantón Guamote

El cantón Guamote según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial efectuado en 2015 tiene un porcentaje de cobertura a la telefonía celular del 80% de su territorio (ver Figura 1-2), esto se debe a que las condiciones del terreno facilitan la propagación de la señal en especial en las parroquias Guamote y Palmira por lo que la mayoría se encuentra cubierto. (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guamote, 2015, pp. 370)

Se puede constatar esto observando los mapas de cobertura de cada operadora por lo que no se puede identificar una aglomeración de gran número de habitantes con falta de servicio en estas dos parroquias. La razón por la que los índices de acceso por parte de los usuarios son más bajos se debe más a los costos que requiere tener una línea celular y mas no a falta de la presencia de este servicio. (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guamote, 2015, pp. 371)



**Figura 1-2:** Acceso a telefonía celular en el cantón Guamote  
**Fuente:** Equipo Técnico GADMG, 2015

En la parroquia Cebadas con 8218 habitantes y con deficiencias notorias de cobertura a lo largo de su territorio según los mapas de las operadoras se distinguen dos principales sectores, el primero en las comunidades situadas al este de la cabecera parroquial y el segundo en la zona de Atillo al sur de la parroquia. El sector más poblado y conjunto de los dos es el que se encuentra al este de la cabecera parroquial, mientras que el segundo sector es más alejado, disperso y se distribuye a lo largo de la carretera hacia Macas.

El primer sector de acuerdo con la tabla 2-2 consta de 5 comunidades que no tienen servicio y son: Tranca San Luis, Tranca Pucara, Tranca Shulpuj, Guargalla Grande y Guargalla San Eduardo (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Cebadas, 2015, p. 178). Estas suman una población total de más de 900 habitantes aproximadamente (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Cebadas, 2015, p. 74-75) que se encuentran cercanos entre sí por lo que este asentamiento podría ser tomado en cuenta.



**Tabla 2-2:** Acceso a telefonía en la parroquia rural Cebadas

COMUNIDAD	SERVICIO DE TELEFONIA FIJA			SERVICIO TELEFONIA MOVIL		
	Si	No	N° de familias que cuentan con el servicio	Si	No	N° de familias que cuentan con el servicio
Bazán Chico		X		x		41
Bazán Grande		X		X		35
Gozoy San Luis		X		X		25
San Alberto		X		X		10
Tranca San Luis		X			X	
Tranca Pucará		X			X	
Tranca Shulpuj		X			X	
Guargulla Granda		X			X	
Guargualla San Eduardo		X			X	

Fuente: Equipo Técnico GADPR de Cebadas, 2015

#### 2.1.2.2 Cantón Penipe

En el cantón Penipe según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial la mayoría de las parroquias y comunidades cuentan con servicio de telefonía celular, esto principalmente por la operadora Claro cómo se puede observar tanto en la Tabla 3-2 (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Penipe, 2015, pp. 279) como en los mapas de cobertura que provee la operadora (Anexo A). Cada parroquia tiene una población menor a 1300 habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Penipe, 2015, pp. 111) por lo que no se pudo encontrar algún asentamiento humano con una aglomeración de habitantes representativa que carece del servicio.

**Tabla 3-2:** Acceso a servicios básicos de comunicación en las comunidades del cantón Penipe

Parroquia	Comunidad	Telefonía Fija			Telefonía Móvil			Internet		
		SI	NO	Operadora	SI	NO	Operadora	SI	NO	Operadora
Bayushig	Centro Parroquial	X		CNT	X		Claro	X		Infocentro
	Colaytus	X		CNT	X		Claro		X	
	La Libertad	X		CNT	X		Claro		X	
	Naguantus	X		CNT	X		Claro		X	
	Santa Vela		X	CNT	X		Claro		X	
Bilbao	Centro Parroquial	X		CNT	X		Claro, Movistar, CNT	X		Infocentro
	Yuibug		X		X		Claro		X	
El Altar	Centro Parroquial	X		CNT	X		Claro	X		Infocentro
	Ayanquil		X		X		Claro		X	
	Azacucho	X		CNT	X		Claro		X	
	Ganshi	X		CNT	X		Claro		X	
	Pachanillay	X		CNT	X		Claro		X	
	Pallctahua	X		CNT	X		Claro		X	
	Utuñag				X		Claro		X	
La Candelaria	Centro parroquial	X		CNT	X		Claro	X		Infocentro
	Releche		X		X		Claro		X	
	Tarau		X			X	Claro		X	
Matus	Centro Parroquial	X		CNT	X		Claro	X		Infocentro
	Caishi	X		CNT	X		Claro		X	
	Matus Alto	X		CNT	X		Claro		X	
Penipe	Centro Cantonal	X		CNT	X		Claro, Movistar, CNT		X	Hogares
	Gaviñay	X		CNT	X		Claro		X	
	Guzo	X		CNT	X		Claro, Movistar		X	
	Nabuzo	X		CNT	X		Claro, Movistar		X	
	Shamanga	X		CNT	X		Claro		X	
Puela	Centro Parroquial	X		CNT	X		Claro	X		Infocentro
	Anabá	X		CNT	X		Claro		X	
	El Manzano	X		CNT	X		Claro		X	
	Pungal de Puela		X		X		Claro		X	

Fuente: Equipo Consultor GADM de Penipe, 2015

### 2.1.2.3 Cantón Alausí

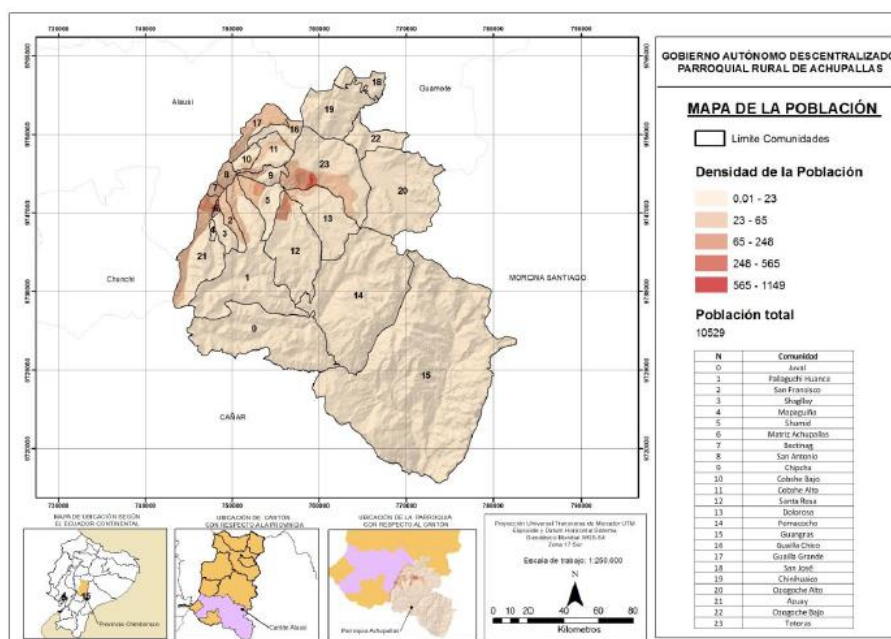
En el cantón Alausí según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial la mayoría de las comunidades de cada parroquia pueden acceder a este servicio con excepción de la parroquia Achupallas, según la Tabla 4-2, ocho de estas comunidades se encuentran sin el servicio lo cual resulta ser lo más notorio en el análisis de este cantón. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausí, 2015, pp. 179)

**Tabla 4-2:** Telefonía por Parroquias del Cantón Alausí

ZONA	PARROQUIA	NUMERO DE COMUNIDADES	SERVICIO DE TELEFONIA FIJA		SERVICIO DE TELEFONIA MOVIL	
			SI	NO	SI	NO
ALTA	ACHUPALLAS	24	5	18	16	8
	PUMALLACTA	6	1	5	6	
	SEVILLA	2	1	1	2	
MEDIA	ALAUSI	9	4	4	9	
	GUASUNTOS	5	2	3	5	
	TIXAN	43	2	41	40	3
BAJA	HUIGRA	23	8	15	21	2
	MULTITUD	17	1	16	16	

Fuente: Equipo Consultor GADM de Alausí, 2015

Analizando los mapas de cobertura de las operadoras Claro, Movistar y CNT y el mapa de división territorial de la parroquia se puede observar que las comunidades que carecen de este servicio son San José, Chiguaico, Ozogoché Alto, Ozogoché Bajo, Pomacocho, Guangras, Juval y Santa Rosa de las cuales según la Figura 2-2 las primeras 7 tiene una población muy dispersa de menos de 23 habitantes por kilómetro cuadrado con lo que se pueden descartar. El único asentamiento humano que califica como zona de aglomeración es la comunidad Santa Rosa, aunque sin embargo tan solo cuenta con 649 habitantes según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Achupallas. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Achupallas, 2015, pp. 49-50)



**Figura 2-2:** Densidad Poblacional de la parroquia Achupallas

Fuente: Equipo Consultor GADPRA, 2015

#### 2.1.2.4 Cantón Guano

En el cantón Guano según la tabla 5-2 detallada en el PDyOT, el 85% de la superficie del cantón tiene cobertura del servicio de telefonía celular (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano, 2015, pp. 447), este porcentaje se puede constatar también en los mapas de cobertura de las 3 operadoras de telefonía celular.

La cabecera cantonal tiene cobertura casi en su totalidad ya que se trata de una de las ciudades más pobladas de la provincia y que además por su cercanía a la ciudad de Riobamba obtiene beneficios de repetidoras aledañas para sus zonas rurales. Las parroquias San Andrés y San Isidro debido a su cercanía con la carretera E35 tienen amplia cobertura mientras que San Gerardo dispone del servicio por su cercanía a la ciudad Riobamba.

En cuanto a las demás parroquias rurales Ilapo, Valparaíso, Santa Fe de Galán, Guanando y San José de Chazo, se han implementado estaciones base de telefonía celular en puntos claves y se logra cubrir gran parte de estas parroquias; estas parroquias además tan solo cuentan con poblaciones menores a 1900 habitantes cada una (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano, 2015, pp. 135) y debido a que parcialmente tienen cobertura en las zonas de mayor población, no se puede identificar una aglomeración de gran número de habitantes sin servicio.

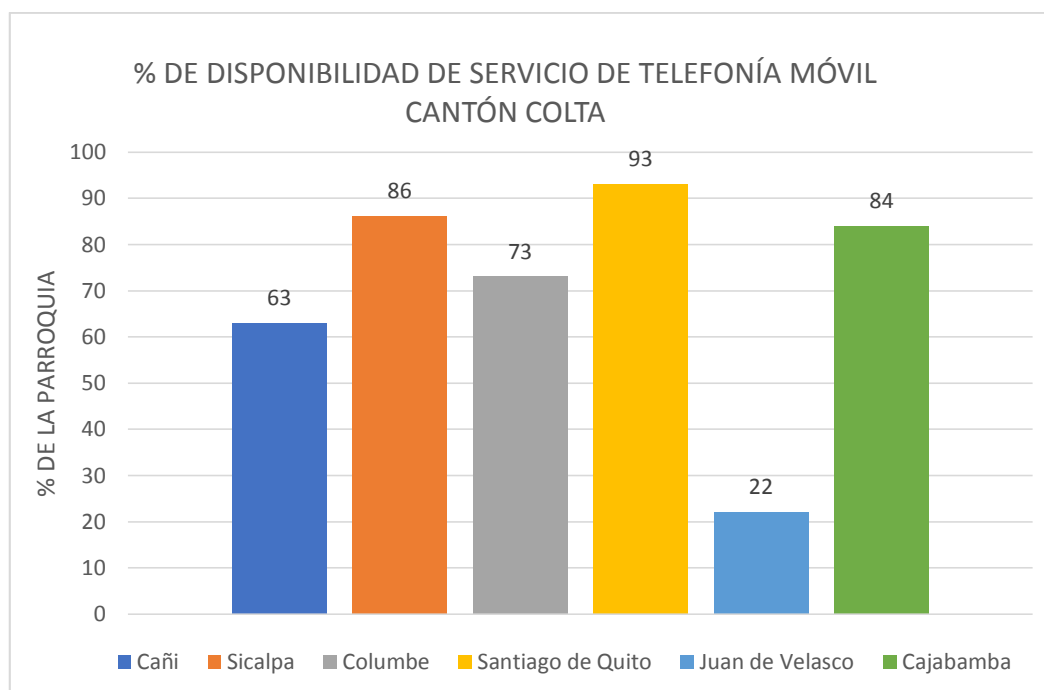
**Tabla 5-2:** Matriz de acceso a servicios en telecomunicaciones en el cantón Guano

SERVICIOS	ACCESO	COBERTURA
Telefonía móvil	56,53 %	85 %
Telefonía fija (Viviendas)	62,77 %	28,68 %
Acceso a internet (# de viviendas)	5,69 %	2,55 %

Fuente: Equipo Técnico GADM de Guano, 2015

#### 2.1.2.5 Cantón Colta

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Colta del año 2015 se detalla el índice de disponibilidad de servicio de telefonía móvil por parroquias en el cual según el grafico 1-2 se muestra que los porcentajes más bajos lo tiene la parroquia Juan de Velasco seguida de Cañí, Columbe, Cajabamba y Sicalpa. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta, 2015, p. 92)



**Gráfico 1-2:** Disponibilidad del servicio de telefonía móvil en el cantón Colta  
**Fuente:** Equipo Técnico GADM de Colta, 2015

Mediante la información de la población detallada por cada parroquia (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta, 2016) y con los porcentajes de disponibilidad del servicio es posible determinar aproximadamente cuantos usuarios por parroquia carecen del servicio y se detalla en la tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Población sin servicio de telefonía celular por parroquia en el cantón Colta

PARROQUIA	Nº HABITANTES	%COBERTURA	Nº HABITANTES SIN EL SERVICIO
Sicalpa	13613	0,86	1905,82
Columbe	16262	0,73	4390,74
Cajabamba	7268	0,84	1162,88
Santiago de Quito	5105	0,93	357,35
Juan de Velasco	4310	0,22	3361,8
Cañí	947	0,63	350,39

**Realizado por:** Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

Las parroquias que mas tienen deficiencia en cuanto a numero de habitantes son en primer lugar Columbe seguido de Juan de Velasco y Sicalpa los cuales se toman en cuenta para la busqueda de asentamientos humanos aglomerados donde exista una falta de cobertura de telefonia celular.

La parroquia Columbe es la que tiene una mayor cantidad de personas con falta de servicio, la segunda con menos extension territorio y con porcentaje de cobertura de las 3. Según el Plan de

Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia se tiene acceso en 37 de 62 comunidades Colta (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Columbe, 2015, pp. 124) y analizando los mapas de cobertura se encontro dos aglomeraciones importantes.

La primera en el sector de Sasapud y sus alrededores que suman un total de 8 comunidades bastante dispersas y llegando a un maximo de 1500 habitantes, la segunda aglomeracion consta de la comunidad Llinllin y sus alrededores las cuales son poco dispersas y suman por lo menos 2200 habitantes según los datos del municipio de Colta (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta, 2016) por lo que este sector sera tomado en cuenta como posible caso de estudio.

La parroquia Juan de Velasco es la segunda con mayor cantidad de habitantes sin el servicio, la primera con mayor extension de territorio y con porcentaje de cobertura de las 3. Esta parroquia es la que tiene menos cobertura de telefonía móvil en toda la provincia.

Consta de dos principales aglomeraciones la primera al norte de la parroquia en el sector de Guagoupud con un total de 6 comunidades que representan aproximadamente 850 habitantes, la segunda en el centro de la parroquia precisamente en la cabecera parroquial y sus alrededores que representan aproximadamente mas de 1000 habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta, 2016) con lo que esta ultima sera tomada en cuenta para el estudio.

La parroquia Sicalpa es la primera con menos cantidad de habitantes sin el servicio, la de menor extension de territorio y la que mejor porcentaje de cobertura tiene de las tres. Al analizar los mapas de cobertura de las 3 operadoras de telefonía celular se pudo observar que existe un vacio al Oeste de Sicalpa Centro donde existen aproximadamente 10 comunidades conjuntas que presentan una poblacion de mas de 1600 habitantes aproximadamente (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta, 2016) las cuales tambien seran tomadas en cuenta para el estudio

### **2.1.3.    *Principales locaciones***

Al finalizar la investigacion de datos demograficos y de acceso al servicio de telefonía móvil detallados en diversos Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial tanto provinciales cantonales y parroquiales, ademas de evaluar los mapas de cobertura actualizados de las tres operadoras de telefonía celular e identificando los sitios que carecen de este servicio se pudo obtener 3 asentamientos humanos que tienen la mayor cantidad de poblacion aglomerad y no disponen de cobertura

- Comunidad Llinllin y sus alrededores en la parroquia Columbe (Zona 1)
- Cabecera parroquial Juan de Velasco y sus alrededores (Zona 2)
- Comunidades al oeste de Sicalpa centro (Zona 3)

## **2.2 Método e indicadores para selección de zona de cobertura**

La determinación de la localización para la ejecución de un proyecto por lo general está orientada a hacia la que permita las mayores ganancias de acuerdo a factibilidad del mismo, sin embargo tampoco puede ser una decisión puramente económica pues existen otros factores a tomar en cuenta como aspectos técnicos, legales o sociales.

Las técnicas de localización para proyectos son de tipo:

- Subjetivas
- Cualitativas
- Cuantitativas

### **2.2.1. Método cualitativo por puntos**

Debido a que no se puede evaluar el proyecto de acuerdo a costos, pues aún no se tiene una referencia clara de lo que representaría una inversión en cada sitio por lo que el método para evaluar será del tipo cualitativo.

El método indicado es el Método Cualitativo por Puntos el cual define factores de la localización a los que se le asigna valores ponderados de peso relativo de acuerdo a la importancia e influencia que tienen en el proyecto, los cuales dependen de gran manera también por parte del/los evaluador/es.

También al comparar dos o más factores de acuerdo a un análisis lo más real posible se determina la importancia relativa de cada factor sobre cada opción de localización y se asigna una calificación que puede variar entre 1 y 10 y puede ser obtenida del criterio de varios evaluadores.

Al final cada ponderación se multiplica por su calificación respectiva, y la suma de estos valores determina la mejor opción de localización.

De acuerdo a la influencia de el factor económico se toma la población, como factores técnicos se toma la ausencia de cobertura celular y la factibilidad, y como factor social el aislamiento de

la zona de los servicios de telecomunicaciones. Quedan definidos entonces 4 factores para evaluar la tres localizaciones por el Metodo Cualitativo por Puntos:

- Poblacion
- Falta de cobertura celular
- Aislamiento de servicios de telecomunicaciones
- Factibilidad

### 2.2.2. Evaluacion de los factores

#### 2.2.2.1 Población

#### Zona 1

La zona 1 corresponde a las comunidades de Llinllin y sus alrededores en la parroquia Columbe, la ubicación de los asentamientos principales se muestra en el Mapa 1-2.



**Mapa 1-2:** Mapa de las comunidades de la Zona 1

**Fuente:** Bing Maps, 2018

De acuerdo con los datos poblacionales obtenidos desde los informes de GADM del canton Colta se determina la poblacion total de la zona de comunidades de Columbe, lo cual se detallada en la Tabla 7-2.



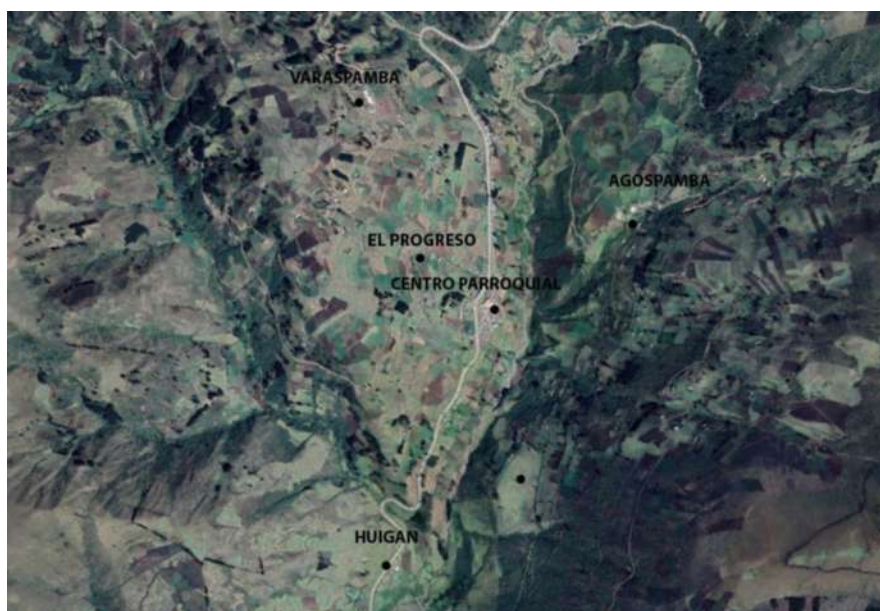
**Tabla 7-2:** Población de las comunidades de la zona 1

COMUNIDAD	Nº Habitantes
Llinllin Las Juntas	1532
Llinllin Pucara	
Llinllin Santa Fe	
Llinllin Centro Cívico	
San Guisel centro	155
San Bernardo Bajo	328
San Guisel Alto	250
<b>Total</b>	<b>2265</b>

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

## Zona 2

La zona 2 corresponde a la cabecera parroquial Juan de Velasco y sus alrededores, la ubicación de los asentamientos principales se muestra en el mapa 2-2.



**Mapa 2-2:** Mapa de las comunidades de la Zona 2

Fuente: Google Maps, 2018

De acuerdo con los datos poblacionales obtenidos desde los informes de GADM del canton Colta se determina la población total de la zona de la cabecera parroquial de Juan de Velasco y sus comunidades aledañas, lo cual se detallada en la Tabla 8-2.

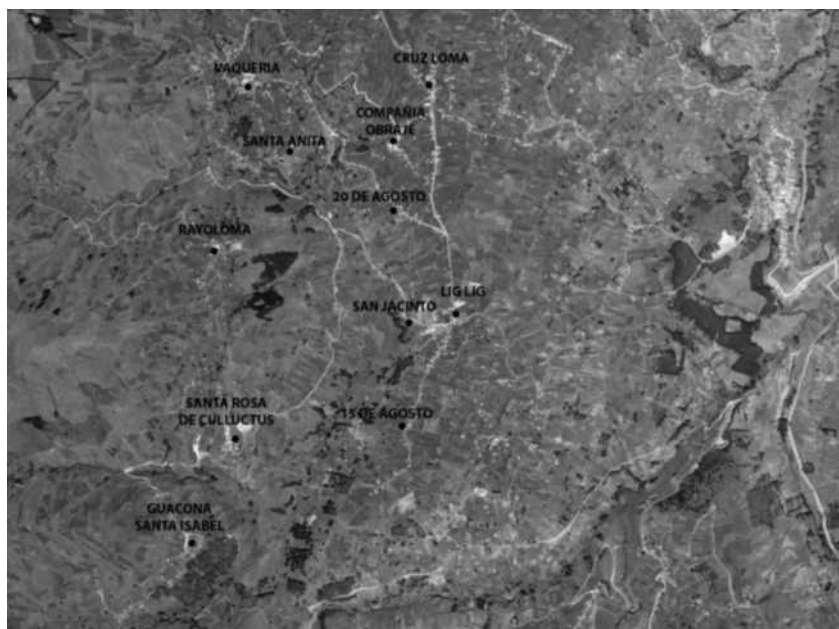
**Tabla 8-2:** Población de las comunidades de la zona 2

COMUNIDAD	Nº Habitantes
Agospamba	352
Huigan	110
Varaspamba	234
Cabecera parroquial	195
El Progreso	134
<b>Total</b>	<b>1025</b>

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

### Zona 3

La zona 3 corresponde a las comunidades situadas al este de Sicalpa, la ubicación de los asentamientos principales se muestra en el mapa 3-2.



**Mapa 3-2:** Mapa de las comunidades de la Zona 3

Fuente: Google Maps, 2018

De acuerdo con los datos poblacionales obtenidos desde los informes de GADM del cantón Colta se determina la población total de la zona de comunidades de Sicalpa, lo cual se detallada en la Tabla 9-2.

**Tabla 9-2:** Población de las comunidades de la zona 3

COMUNIDAD	N° Habitantes
Guacona Santa Isabel	108
Santa Rosa de Cullugtus	136
20 de agosto	60
15 de agosto	92
San Jacinto	152
Lig Lig	144
Santa Anita	128
San Pedro de Rayoloma	144
Cruz Loma	296
Compañía Obraje	72
Vaquería	280
<b>TOTAL</b>	<b>1612</b>

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

#### **2.2.2.2** Ausencia de cobertura de telefonía celular

Mediante los mapas de cobertura de cada una de las operadoras de telefonía móvil (Claro, Movistar y CNT) en cada una de las zonas (Ver Anexos J-L) se puede observar:

- En la Zona 1 se presentan ciertos niveles de cobertura en una o dos comunidades de interés sin embargo representan niveles muy bajos.
- En la Zona 2 se puede notar que la cobertura es totalmente nula y que incluso carece de esta a varios kilómetros de distancia.
- En la Zona 3 se observa pequeños niveles de señal en unos cuantos sitios ubicados al este, los mismos se encuentran al filo de cobertura por lo que posiblemente el servicio es inestable.

A pesar de tener la información de los mapas de cobertura de las tres operadoras, estos representan modelos aproximados a la realidad por lo tanto es necesario realizar mediciones de niveles de recepción en los sitios de interés para tener una información más real y así tener una evaluación más acertada de cada uno de los casos.

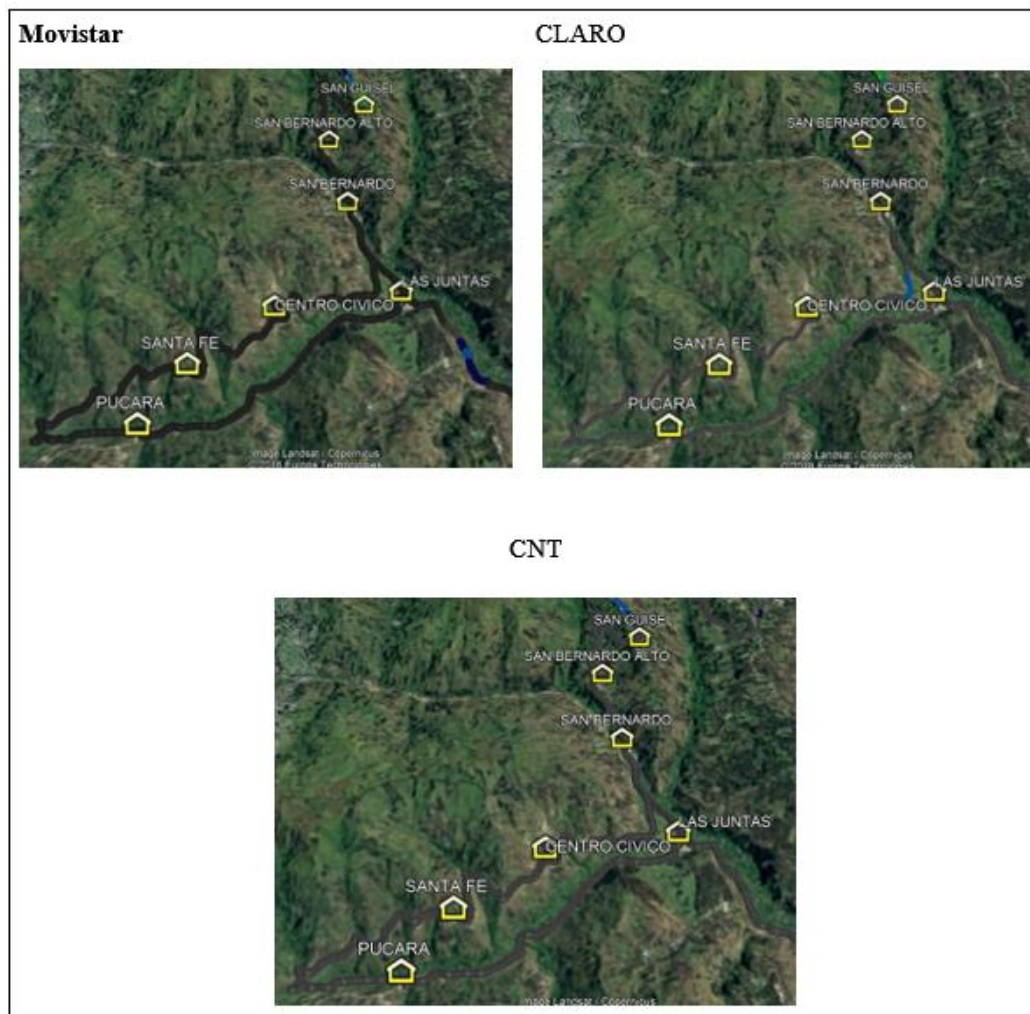
Las mediciones se llevan a cabo mediante la aplicación móvil G-Net Track Pro disponible para dispositivos que operan bajo el sistema operativo Android, la principal ventaja de esta aplicación en comparación a similares es la flexibilidad con la que se puede manipular sus ajustes, brindando así al usuario el control de parámetros como la distancia y el tiempo en el que se realiza la medida

de cada punto de potencia, y principalmente la opción de exportar todos los datos recopilados en un archivo .kml para después ser visualizados en software cartográfico.

Las mediciones se realizan cada cierto tiempo y se va emitiendo información relacionada con la señal de telefonía tales como: nivel de recepción, tecnología, identificador de celda, operador móvil, etc. En este caso se tomará el nivel de recepción independientemente del tipo de tecnología el cual es plasmado en el archivo .kml mediante puntos, cada punto es identificado mediante escala de colores donde el color más oscuro representa la ausencia de recepción.

### Zona 1

La parroquia Columbe se encuentra ubicada al sur del cantón Colta, el sector en cuestión consta de las siguientes comunidades: Llinllin Las Juntas, Llinllin Pucará, Llinllin Santa Fe, Llinllin Centro Cívico, San Guisel Centro, San Bernardo y San Guisel Alto. Se realizó las mediciones en cada uno de estos puntos siguiendo el trayecto de las vías de acceso.

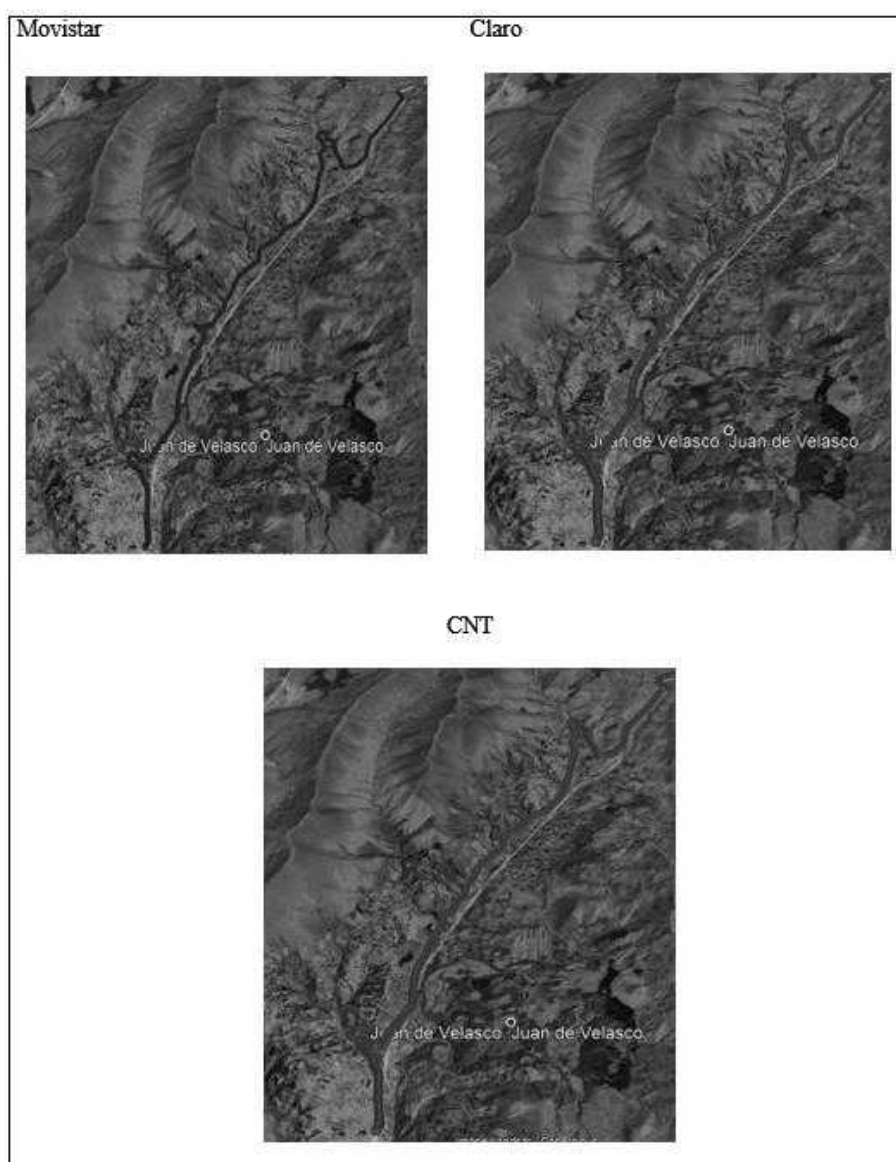


**Mapa 4-2:** Niveles de recepción de señal de telefonía celular en la Zona 1  
**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

Según el mapa 4-2 los valores de potencia obtenida por parte de las tres operadoras en todos los rincones de las comunidades son de -200dBm es decir no existe ningún tipo de señal de telefonía móvil y se comprueba la falta de servicio, sin embargo esta es aún menor que la que se detalla en los diferentes mapas de cobertura de las operadoras ya que dos de ellas muestran cobertura parcial en las comunidades Centro Cívico y Santa Fe; pero los datos obtenidos muestran que durante todo el trayecto nunca hubo la presencia de la señal de telefonía celular salvo en una de ellas que registro niveles aceptables en la zona de San Guisel Alto.

## Zona 2

El sector de análisis en la parroquia Juan de Velasco consta de varias comunidades, las mediciones se realizaron en las comunidades Varaspamba, Agospamba, El Progreso Huigan y la cabecera parroquial siguiendo el trayecto de la carretera principal.



**Mapa 5-2:** Niveles de recepción de señal de telefonía celular en la Zona 2  
**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

Según el mapa 5-2 las mediciones en el sector de Juan de Velasco confirman los niveles de cobertura que se detallan en cada una de las operadoras el cual no solo está ausente en los alrededores de la cabecera parroquial, sino también a lo largo de la carretera más de 10 kilómetros hacia el norte mostrando así que toda la parroquia está en asilamiento total del servicio de telefonía móvil. En la Tabla se aprecia el porcentaje de falta de servicio de cada operadora.

### **Zona 3**

La parroquia Sicalpa forma parte de la ciudad Villa la Unión en el cantón Colta, las mediciones se realizaron en las siguientes comunidades: San Jacinto, Lig Lig, 20 de agosto, Compañía Obraje, Vaquería, Santa Anita y 15 de agosto.

#### **- Movistar**

La potencia de la señal móvil de la operadora Movistar oscila entre -113dBm a -103dBm en las zonas más altas mientras que las zonas más bajas se registran datos de entre -200dBm a -113dBm.

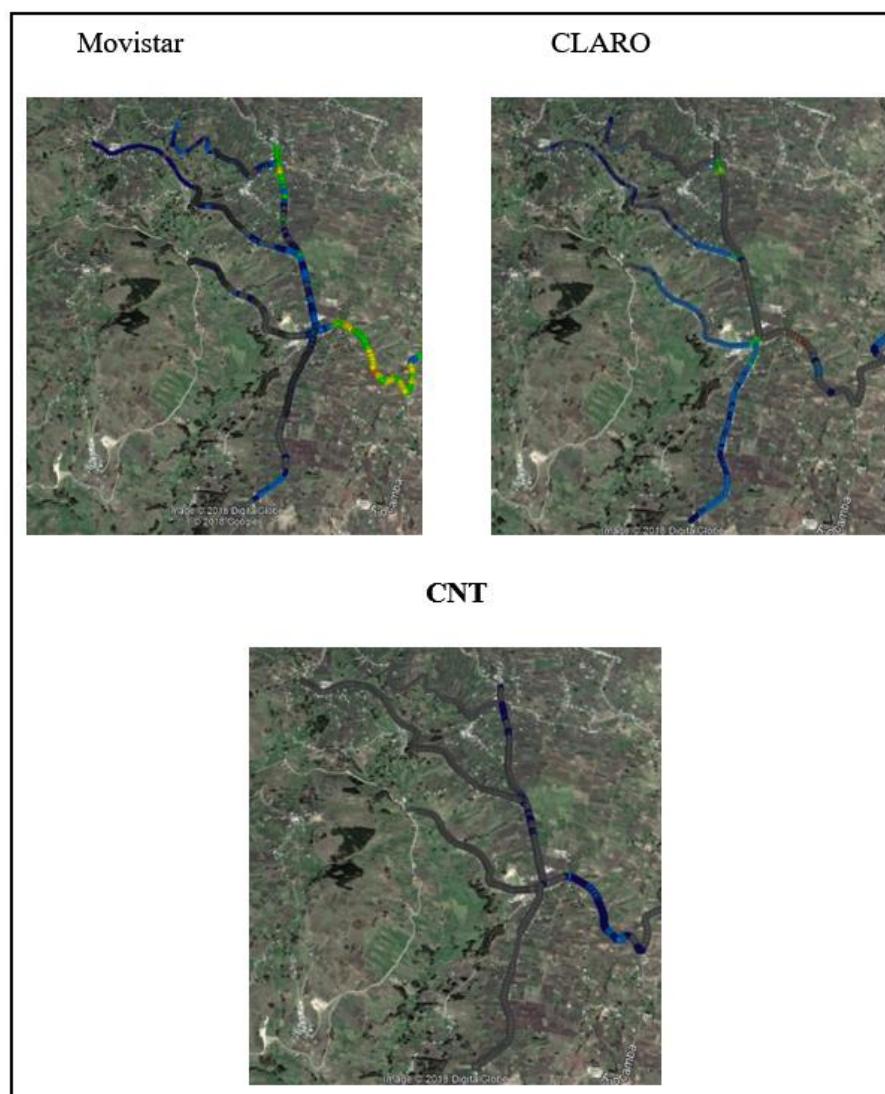
#### **- Claro**

La potencia de la señal móvil de la operadora Claro en las zonas más altas oscila entre -113dBm a -95dBm y -113dBm en las zonas más bajas.

#### **- CNT**

La potencia de la señal móvil de la operadora CNT es la más baja entre las 3 analizadas en este sector dado que su potencia oscila entre -113dBm a -105dBm en las zonas más altas y -113dBm en las zonas más bajas.





**Mapa 6-2:** Niveles de recepción de señal de telefonía celular en la Zona 3  
**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

En las mediciones del sector de la parroquia Sicalpa (ver mapa 6-2) se pudo verificar que efectivamente tal como los mapas de cobertura lo estimaron, existe ciertos niveles de señal principalmente en las comunidades 15 de agosto, 20 de agosto, Lig lig, San Jacinto y Obraje, aunque resulta ser bastante irregular y de baja intensidad. Además, existen zonas en que una operadora dispone de servicio mientras que la otra operadora no y viceversa con lo que se puede decir que ninguna de las 3 operadoras cumple con los estándares de calidad de servicio.

**Tabla 10-2:** Porcentaje de ausencia de cobertura en las zonas.

Lugar	Porcentaje de áreas sin servicio de telefonía móvil		
	Movistar	Claro	CNT
Comunidades en Sicalpa	58.80%	48.96%	99.36%
Comunidades en Columbe	99.38%	97.94%	100%
Comunidades en Juan de Velasco	95.39%	100%	100%

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

En las comunidades de Sicalpa el resultado obtenido por las mediciones es muy parecido a los mapas de cobertura excepto por una operadora, mientras que en las comunidades de Columbe los niveles medidos son más bajos que los que se muestra en dos de los mapas de cobertura de dos operadoras. De esta manera se tiene una información más fiel a la realidad en donde el sector de Columbe tiene más deficiencias de cobertura de las que se esperaba (ver Tabla 10-2).

### **2.2.2.3 Aislamiento por falta de servicios de telecomunicaciones**

#### **Zona 1**

- El sector no tiene servicio de telefonía móvil en lo absoluto y para acceder a un buen nivel de servicio en el mejor de los casos hay que desplazarse dos kilómetros de distancia y el peor hasta seis kilómetros.
- El sector dispone de telefonía fija por cobre la cual sirve para unos pocos abonados pero que no tiene la capacidad de brindar internet fijo debido a la lejanía con el AMG ubicado en la cabecera parroquial de Columbe. (CNT EP, 2018)
- La empresa CNT provee el servicio de CDMA 450 que está orientado a brindar por medio del espectro radioeléctrico tanto telefonía fija como internet fijo de hasta 2 Mbps, según los mapas de cobertura de CDMA 450 de CNT detallado en el mapa 7-2, existe una cobertura total en toda la zona. (CNT EP, 2018)





**Mapa 7-2:** Cobertura de CDMA 450 en la zona 1  
Fuente: Geoportal CNT EP, 2018

## Zona 2

- El sector no dispone de telefonía móvil en lo absoluto y para acceder a este se tendría que desplazarse no menos de trece kilómetros.
- No existen redes de cobre ni de fibra óptica en los alrededores, el único punto de conexión a Internet es un Infocentro ubicado en la cabecera parroquial por medio de internet satelital. (CNT EP, 2018)
- Según los mapas de cobertura de CDMA 450 de CNT detallado en el mapa 8-2 la cobertura es bastante irregular en el sector de manera que no disponen de este servicio algunas de las comunidades y la cabecera parroquial. (CNT EP, 2018)



**Mapa 8-2:** Cobertura de CDMA 450 en la zona 2  
Fuente: Geoportal CNT EP, 2018

### Zona 3

- El sector no tiene un servicio aceptable de telefonía móvil y tan solo pocas comunidades reciben un nivel de señal discreto, algunas comunidades se encuentran a menos de un kilómetro de una buena zona de cobertura de las 3 operadoras y otras hasta a un máximo de 4 kilómetros.
- El sector no dispone de redes de cobre o de fibra óptica y por ende no hay el servicio de telefonía fija ni de internet fijo por este medio. (Corporacion Nacional de Telecomunicaciones, 2018)
- Según los mapas la cobertura detallada en el mapa 9-2 esta se encuentra presente en la mayoría de las comunidades de esta zona. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones, 2018)



**Mapa 9-2:** Cobertura de CDMA 450 en la zona 3

**Fuente:** Geoportal CNT EP, 2018

#### 2.2.2.4 *Factibilidad*

### Zona 1

- El punto más cercano de conexión al sector tomando como referencia la comunidad Llinllin es la estación base de CDMA 450 cerca de San Guisel Alto (Morocho, 2014, p. 74) ubicada en las coordenadas 1° 50.548'S, 78° 45.713'O a 2.71 Km. El siguiente punto más cercano es el AMG de CNT ubicado en la parroquia Columbe ubicado en las coordenadas 1°53'11.76"S, 78°43'24.96"O a 4.47 Km como se detalla en el mapa 10-2.



**Mapa 10-2:** Ubicación de puntos de conexión cercanos a la Zona 1

**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

- Ambos sectores cuentan con línea de visión directa a diferentes puntos altos del sector sin embargo la estación base de CDMA 450 se encuentra conectada a red externa por medio de un radio enlace, mientras que el AMG de CNT tiene enlaces de fibra óptica.
- La geografía del sector es medianamente irregular.

## **Zona 2**

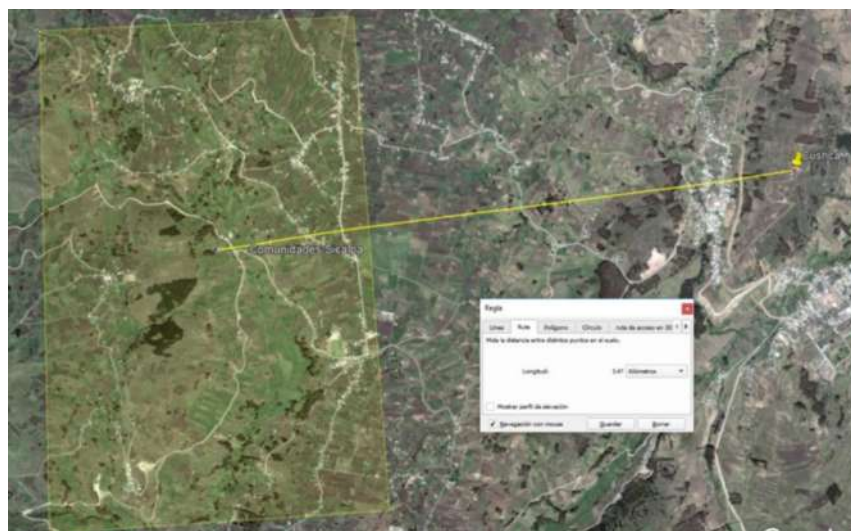
- El punto más cercano de conexión es el cerro Cushca donde existen repetidoras de telefonía celular 3G ubicadas exactamente en la posición  $1^{\circ}41'45.90''S$   $78^{\circ}46'41.50''O$  a 18.5 Km de la cabecera parroquial como se detalla en el mapa 11-2.
- No existe línea de visión directa entre estos puntos
- La geografía del sector es muy irregular



**Mapa 11-2:** Ubicación de puntos de conexión cercanos a la Zona 2  
**Realizado por:**aguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

### Zona 3

- El punto más cercano de conexión es el cerro Cushca en donde existen repetidoras de 3G por parte de las 3 operadoras. Este punto está ubicado exactamente en la posición  $1^{\circ}41'45.90''S$   $78^{\circ}46'41.50''O$  y la distancia al sector es de aproximadamente 3.47 kilómetros como se detalla en el mapa 12-2.



**Mapa 12-2:** Ubicación de puntos de conexión cercanos a la Zona 3  
**Realizado por:**aguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

- Existe visibilidad directa entre la estación base del cerro y los puntos altos del sector
- La geografía es poco irregular.



## **2.3 Estudio de demanda en la zona seleccionada**

Una vez seleccionado el sector de interés en el que la cobertura de telefonía celular es necesaria, es de suma importancia realizar investigación de campo para poder conocer aspectos de la población con relación al servicio de telefonía celular y de esa manera en etapas siguientes poder dimensionar la red, seleccionar el tipo de tecnología a utilizar entre otros aspectos técnicos y económicos.

### **2.3.1 *Diseño de la Investigación***

Diseño transversal simple.

### **2.3.2 *Métodos de investigación, técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos***

Para fines del proyecto es necesario recopilar datos del entorno de estudio sin que sea modificado o manipulado, por esta razón se utiliza la investigación descriptiva, la cual permite recoger información de una parte de la población mediante entrevistas, encuestas o cuestionarios y representarlos en forma de graficas o tablas.

### **2.3.3 *Diseño del cuestionario***

El cuestionario diseñado para las encuestas intenta describir y documentar las condiciones en las que se encuentra la población respecto a la telefonía, mediante preguntas de respuesta cerrada presentadas en opción múltiple, *PAPI* (Paper And Pencil Interview) es usado como medio de captura dado que las encuestas se realizan en lugares prácticamente remotos por la cuasi nula conexión a internet se espera evaluar de manera correcta los valores obtenidos y usarlos como sustento en las siguientes etapas del proyecto.

#### **2.3.4 Determinación de la muestra**

Se determina un número representativo de la población activa que será cliente del servicio de telefonía móvil; para obtener la cantidad de individuos en la muestra se utilizará la siguiente formula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

p= población estimada de éxitos

q= población estimada de fracasos (1-p)

Z= 1.96 para un nivel de confianza de 95%

d= error de estimación 5%

#### **2.4 Selección de la tecnología en la zona**

El tipo de tecnología para la estación base será seleccionada de acuerdo con las necesidades de los potenciales usuarios siempre y cuando exista la factibilidad física de expandir la red desde estaciones bases aledañas o en el mejor de los casos desde un AMG, de acuerdo con la capacidad tecnológica de los sitios aledaños se podrá limitar que tipos de tecnología tienen factibilidad para ser implementados en la zona.

#### **2.5 Ubicación de la estación de telefonía celular**

La estación de telefonía celular necesita ser ubicada en un punto estratégico en el cual brinde cobertura a toda la población distribuida en la zona, esto también dependerá de porque medio conecte a la misma a la red exterior ya que si es un radio enlace necesitara línea de vista al punto de conexión, y si se trata de una red de fibra óptica deberá tomarse en cuenta un camino de acceso que facilite la instalación de esta.

Se toma en cuenta también la presencia de energía eléctrica en las cercanías de la estación de telefonía celular

## **2.5 Descripción de la estación de telefonía celular**

Se procede a describir la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la estación y la evaluación por software de simulación de la mejor cobertura y de un canal de transmisión estable.

De acuerdo con las zonas pobladas se define el número de sectores, como están dirigidos y que parámetros pueden dar una cobertura optima en la zona de manera que se asegure nivel de señal y calidad de servicio para todos los asentamientos y los caminos vecinales que los conectan entre sí.

Los requerimientos del enlace dependerán del throughput máximo estimado que una estación pueda generar, en base a esto se determinan parámetros como modulación, bandas de frecuencia y canalización para poder evaluar por software la calidad y disponibilidad del enlace.

Se debe estimar la energía total necesaria para que se dé un funcionamiento normal de la estación, así como describir los equipos de energía para suplir la carga y brindar autonomía en caso de se suscite un corte de servicio. Además, se debe describir la obra civil y todos los lineamientos para la ejecución de esta.

## Capítulo III

### 3. ANALISIS Y RESULTADOS

#### 3.1 Determinación de la localización

En la tabla 1-3 se resume los factores considerados para el método cualitativo por puntos de acuerdo con la información recopilada en la sección (2.2).

**Tabla 1-3:** Resumen de los factores con relación a cada Zona de Estudio.

Lugar	Población	Porcentaje (%) de áreas sin servicio de telefonía móvil			Aislamiento	Factibilidad
Sicalpa	1612	Movistar	Claro	CNT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hasta 4 Km de distancia para acceder a telefonía celular</li> <li>- Sin redes de telefonía fija e internet fijo</li> <li>- CDMA 450 (irregular)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia: 3.5 km</li> <li>- Con línea de vista</li> <li>- Geografía poco irregular</li> </ul>
		58.80	48.96	99.36		
Columbe	2265	Movistar	Claro	CNT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hasta 6 Km de distancia para acceder a telefonía celular.</li> <li>- Solo telefonía fija en una sola comunidad</li> <li>- CDMA 450 en todo el sector</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia: 2.62 km</li> <li>- Con línea de vista</li> <li>- Geografía medianamente irregular</li> </ul>
		99.38	97.94	100		
Juan de Velasco	1025	Movistar	Claro	CNT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más de 13 Km de distancia para acceder a telefonía celular</li> <li>- Sin redes de telefonía fija ni internet fijo.</li> <li>- Si cuenta con Infocentro</li> <li>- CDMA 450 (muy reducido)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia: 18.59 km</li> <li>- Sin línea de vista</li> <li>- Geografía muy irregular</li> </ul>
		95.39	100	100		

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

Para evaluar cada factor por el Método Cualitativo por Puntos con relación a cada locación se procede a emitir una calificación de entre 0 y 2 por parte de 3 expertos que conocen acerca del tema y que lo hacen de acuerdo con su criterio personal, esto se detalla en la tabla 2-3



**Tabla 2-3:** Calificaciones de cada factor con respecto a la zona

	F1			F2			F3			F4		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
S1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1
S2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	0
S3	1	2	1	1	1	0	1	2	1	2	2	2

Realizado por: Paraguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

## Factores

F1: Población

F2: Falta de cobertura

F3: Aislamiento

F4: Factibilidad

## Zonas

S1: Comunidades de Columbe

S2: Comunidades de Juan de Velasco

S3: Comunidades de Sicalpa

Se realiza la sumatoria de acuerdo con las calificaciones antes obtenidas por parte de los 3 expertos y el coeficiente que tiene cada sector con relación a cada factor, esto se detalla en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Coeficientes de cada factor con respecto a la zona

	F1		F2		F3		F4	
	S	C	S	C	S	C	S	C
S1	6	0,46	4	0,33	5	0,33	4	0,33
S2	3	0,23	6	0,5	6	0,4	2	0,17
S3	4	0,31	2	0,17	4	0,27	6	0,5
	13	1	12	1	15	1	12	1

Realizado por: Paraguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

S: Suma

C: Coeficiente

A continuación, se determina el peso de cada factor en relación con los otros lo cual se detalla en la tabla 4-3. Debido a que la población siempre se ha considerado como el parámetro base para realizar estudios de demanda, este es más importante que todos los demás. Los factores restantes tienen igual importancia entre ellos.

**Tabla 4-3:** Peso de cada factor en relación con otros

	F1	F2	F3	F4	S	PESO
F1		1	1	1	3	0,33
F2	0		1	1	2	0,22
F3	0	1		1	2	0,22
F4	0	1	1		2	0,22
					9	1

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

Como punto final se procede a evaluar cada sector con cada factor mediante el Método Cualitativo por Puntos mediante los resultados antes obtenidos en cuanto a coeficientes y pesos.

**Tabla 5-3:** Resultado final de la evaluación de factores

		S1		S2		S3	
	PESO	C	VP	C	VP	C	VP
F1	0,33	0,46	0,15	0,23	0,08	0,31	0,1
F2	0,22	0,33	0,07	0,5	0,11	0,17	0,04
F3	0,22	0,33	0,07	0,4	0,09	0,27	0,06
F4	0,22	0,33	0,07	0,17	0,04	0,5	0,11
			<b>0,38</b>		<b>0,31</b>		<b>0,31</b>

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

Tras sumar los valores promedio de las tres localizaciones de los sectores, como se detalla en la tabla 5-3 el sector 1 es el que obtiene más valoración por lo que se escoge como el lugar donde se realizara el proyecto para la implementación de una estación base de telefonía celular.

### 3.2 Tamaño de la muestra

$$n = \frac{2265 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (2265 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

La cantidad de personas a ser encuestadas para realizar el estudio de demanda está dada por  $n = 328.58$ , por tanto, se aborda a 329 habitantes de la zona de Llinllin y sus alrededores.

### 3.3 Evaluación de resultados de encuesta

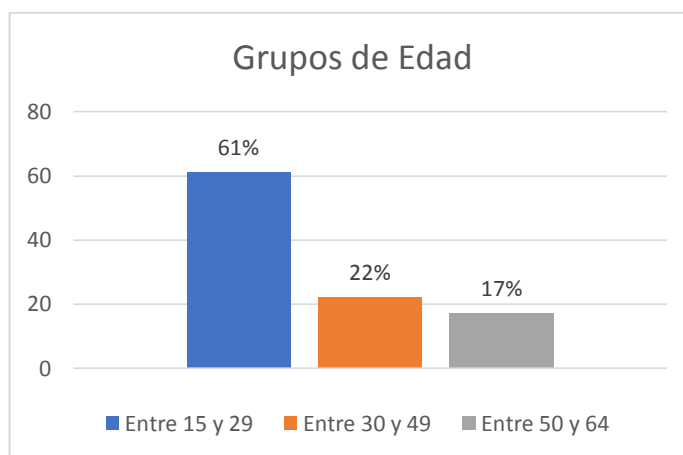
El trabajo de campo fue realizado de manera directa y personal por parte de los autores, en el transcurso de un día se accedió a entidades públicas entre ellas la UECIB DUCHICELA SHYRI XII, el Centro de Salud en San Guisel Centro y una instalación médica del IESS. También se recorrió los principales asentamientos humanos, entre ellos: Llinllin Las Juntas, Llinllin Centro Cívico, Llinllin Santa Fe, Llinllin Pucará, San Guisel Alto, San Guisel Centro y San Bernardo bajo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en las encuestas enfocándonos en las preguntas que permitirán encaminar al proyecto en el cumplimiento de los objetivos planteados. El esquema de la encuesta realizada se la puede encontrar en el Anexo M.

#### 3.3.1 Pregunta 1

##### ¿Edad?

Al momento de realizar las encuestas se trató en su gran mayoría de obtener la opinión de personas de diferentes edades, llegando así a tener la mayoría de la participación en la población joven de las comunidades, la misma que va de los 15 a 29 años, y para fines de la investigación representa el 61%, seguido con un 22% de los encuestados, que se encuentra en el rango de 30 a 49 años, finalmente los encuestados comprendidos en edades de 50 a 64 años representan el 17%.



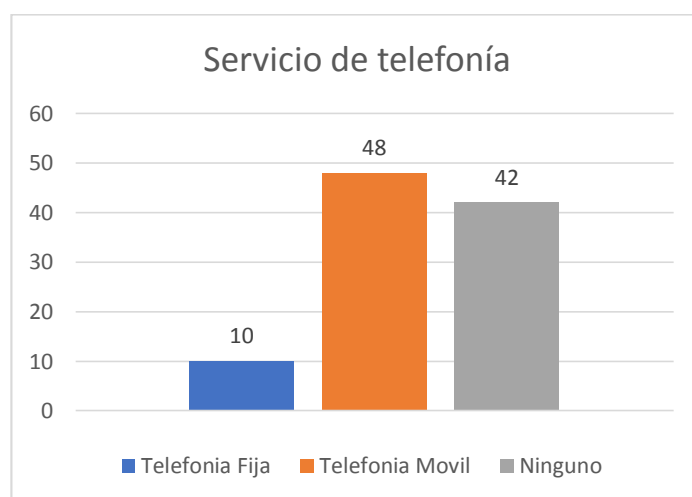
**Gráfico 1-3.** Principales grupos de edad en la comunidad  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

### 3.3.2 Pregunta 2

#### ¿Posee algún servicio de los que se muestran a continuación?

Una parte de la localidad posee teléfono celular con tarjeta SIM de varias operadoras representando el 48% de los encuestados, aunque no dispongan de cobertura en el sector los pobladores aseguran que lo usan y le es beneficioso en los días que viajan hacia los poblados más grandes como lo son Colta y Guamate por motivo de ferias y diversas actividades que los obligan a movilizarse, las personas con las que se trató aseguran que en alguna emergencia la única solución es subir hacia la cumbre de alguna de las montañas para poder realizar una llamada.

Una pequeña parte específicamente el 10% reporta tener acceso a telefonía fija principalmente los que se encuentran ubicados en el sector Llinllin Las Juntas en el que se encuentra ubicada una caja de este tipo de telefonía. Finalmente, el 42% de las personas indican el no poseer ningún tipo de telefonía principalmente por la falta de cobertura celular, sin embargo, aclaran que sería de gran utilidad tener el servicio.



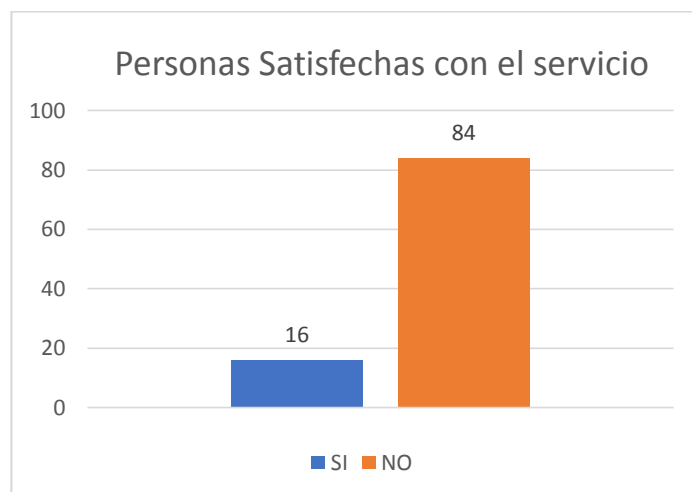
**Gráfico 2-3. Posesión de servicios de telefonía**  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

### 3.3.3 Pregunta 3

#### ¿Se encuentra satisfecho con el servicio?

Como se conoció en el apartado anterior algunas personas poseen servicios de telefonía, y otras ninguno, debido a que la totalidad del sector no consta con señal celular; el 84% de dichas personas no se encuentran satisfechos con el servicio que les proveen las compañías de telefonía en dicho sector. Así también la pequeña parte de personas que poseen telefonía fija y aquellas que

poseen celular y viajan seguidamente a las ciudades más pobladas se encuentran satisfechas con el servicio representando una minoría del 16%.

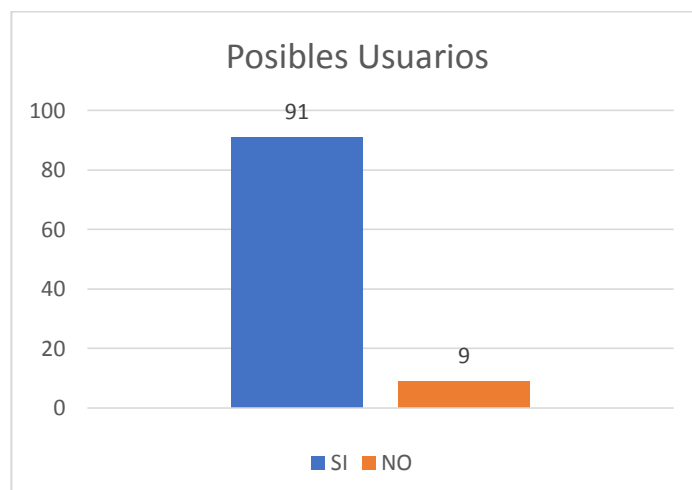


**Gráfico 3-3.** Personas satisfechas con el servicio de telefonía.  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

#### 3.3.4 Pregunta 4

##### ¿Le gustaría tener servicio de telefonía celular en la zona que se encuentra?

Un 91% de los encuestados afirman que les gustaría tener el servicio de telefonía celular en la zona inclusive varios usuarios de telefonía fija mostraron su interés; por otro lado, un 9% manifestaron el no necesitar el servicio ya sea porque poseen telefonía fija, no lo usan mucho en el sector o por su edad, pues no lo ven de mucha utilidad.

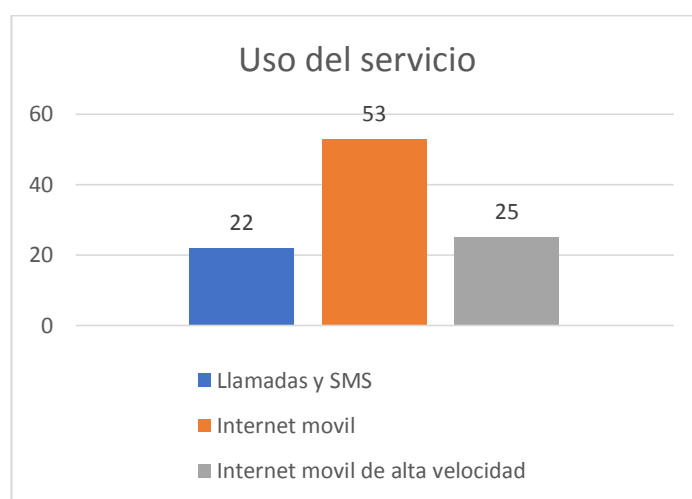


**Gráfico 4-3.** Personas a las que les gustaría tener el servicio de telefonía celular  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

### 3.3.5 Pregunta 5

#### Como cliente de telefonía móvil usted usaría el servicio para:

Los posibles usuarios de telefonía celular supieron manifestar los principales usos del servicio, la mayoría representada en el 53% requiere realizar llamadas, enviar mensajes de texto y tener conexión a internet; el 25% usaría la conexión para realizar llamadas, enviar mensajes y tener conexión de alta velocidad a internet, y así realizar videollamadas o ver contenido de alta definición en línea, esto principalmente en estudiantes de bachillerato; por otra parte el 22% de personas afirma necesitar el servicio solo para realizar llamadas y enviar mensajes de texto.

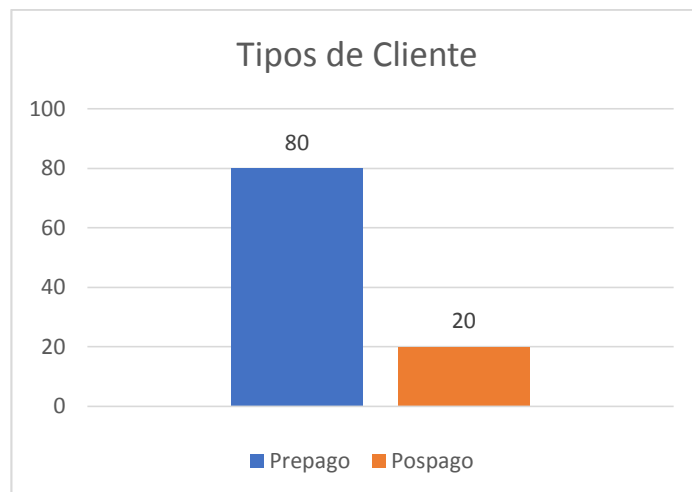


**Gráfico 5-3.** Posibles usos del servicio de telefonía celular  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

### 3.3.6 Pregunta 6

#### Como cliente de telefonía móvil usted optaría por ser:

La mayoría de las personas que optarían por telefonía celular muestran mayor interés en ser clientes prepago representando así un 80%, mientras que en un 20% serian clientes pospago.

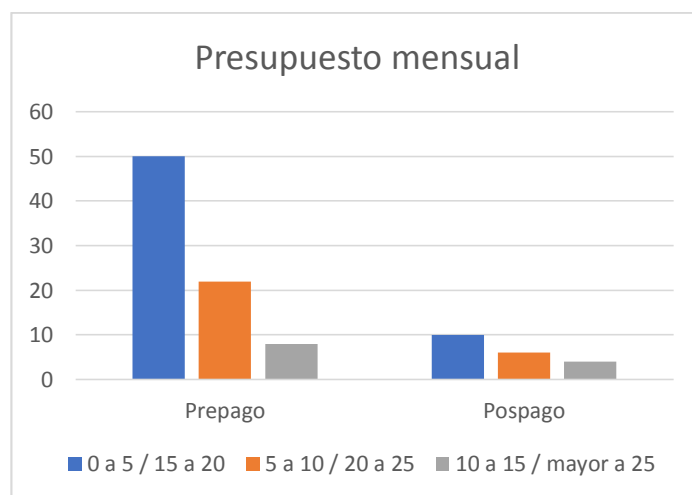


**Gráfico 6-3.** Tipos de clientes de telefonía celular  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

### 3.3.7 Pregunta 7

#### De ser cliente prepago/pospago cuanto estaría dispuesto a recargar por mes:

A continuación, se presenta la cantidad de dinero que los posibles abonados estarían dispuestos a dedicar al servicio por mes ya sean prepago o pospago; así se puede apreciar que la mayoría con un 50% en prepago aportarían desde 0 a 5 dólares y en pospago con un 4% del total de abonados aportarían con tarifas superiores a 25 dólares.



**Gráfico 7-3.** Presupuesto mensual estimado para telefonía celular  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio. 2018

## **Resumen**

De acuerdo con la pregunta 1 se segmentó la encuesta a el mercado potencial de entre 15 y 64 años, de este grupo según la pregunta 2 el 42% no accede a ningún servicio y el 48% tiene celular pero lo usa con motivos de desplazamiento a otras zonas. El 84% no se encuentra satisfecho con el servicio y el 91% tiene el deseo de que se exista cobertura en la zona y estaría dispuesto a invertir cierta cantidad de dinero mensual

Al tener un porcentaje del 91% de personas que demandan el servicio y a que es una zona rural de 2265 habitantes en aproximadamente 12.3 km<sup>2</sup> con una densidad poblacional de 184 h/km<sup>2</sup>, resulta factible el desarrollo del proyecto y que el mismo genere beneficios económicos.

### **3.4 Tipo de tecnología para el Nodo B**

#### **3.4.1 *Factibilidad de conexión***

Como se detalla en la figura 12-2, existen 2 puntos de conexión cercanos a la zona de estudio el primero ubicado en el sector de San Guisel Alto y el otro en la cabecera parroquial de la parroquia Columbe, se describe las características de ambos sitios y las tecnologías celulares que podrían soportar.

##### **Estación San Guisel Alto**

Este punto de conexión es una estación con tecnología CDMA 450 de CNT, la cual esta interconectada a la red exterior por medio de un radio enlace. En caso de implementarse otro radio enlace para comunicar una nueva estación se dividiría la capacidad de transmisión ya existente y esto podría derivar en dificultades para la propia estación o para la implementación de tecnologías 3G o 4G en el nuevo sitio.

##### **AMG de la parroquia Columbe**

Este punto de conexión es un AMG en el que existen servicios de telefonía fija, internet ADSL y enlaces de dedicados de alta velocidad para diferentes usos como el internet corporativo. Resulta más factible si se utiliza alguno de los enlaces disponibles en el sitio para comunicar a la nueva estación, ya que el AMG se encuentra interconectado a la red externa por fibra óptica y soportaría sin ningún problema el tráfico generado.



Al presentar las características de cada sitio encontramos que el AMG de Columbe podría servir como punto de conexión para la nueva una estación y soportaría cualquiera de las tecnologías celulares ya sea 2G, 3G, 3.5G o 4G.

### **3.4.2     *Evaluación de los requerimientos de la demanda***

Al no presentarse inconvenientes con la factibilidad de conexión hacia la red exterior se procede a evaluar el criterio de los habitantes de la zona y los servicios de telefonía que requieren. De acuerdo con los resultados de la pregunta 5 de la encuesta la cual se detalla en el grafico 5-3 se puede concluir que la tecnología que cumple con las necesidades de la demanda es de tercera generación y corresponde a UMTS y sus actualizaciones HSPA, HSUPA, HSDPA.

La tecnología 3G puede ofrecer el servicio de internet móvil en la zona con velocidad de conexión suficiente para servicios de navegación, llamadas de voz por IP o reproducción de video en línea en una calidad standard; dichos servicios cumplen con los requerimientos de la encuesta.

Se toma en cuenta también la tecnología de segunda generación pues al ser una zona rural es muy probable la existencia de teléfonos celulares básicos que solo soporten esta.

La implementación de LTE al momento no es requerida debido a que los usuarios no demandan servicios sofisticados de conexión, a pesar de ser la tecnología de vanguardia su implementación representaría la utilización innecesaria de recursos tecnológicos (conexión de mayor capacidad) y económicos (mayor costo de inversión).

También se añade el requerimiento de LTE en el cual se detalla que los eNodeB tienen que establecer conexiones entre sí por medio de la interfaz denominada X2. (Ahmed y Amin. 2016: p.1) Debido a que los eNodeB más cercanos se encuentran en la capital provincial se requeriría de dos enlaces dedicados para conectar el nuevo eNodeB a dos ya existentes, esto representaría la necesaria modificación de la red existente tan solo por un nodo aislado. Resulta más factible la implementación de un eNodeB cuando la red 4G se haya expandido gradualmente hasta llegar a estaciones aledañas.

Debido a la evolución de las redes celulares en el estudio se toma en cuenta la posible implementación futura de LTE en la zona, por consiguiente, los equipos descritos tanto en el enlace de comunicación como el sistema radiante deberán tener suficiente escalabilidad para una futura actualización.

### **3.5 Emplazamiento del Nodo B**

Para la selección del emplazamiento del nodo B es necesario determinar si se cumplen ciertos requerimientos, tales como el despeje para la propagación de la señal, por cual medio se llevará la transmisión y la presencia de energía eléctrica en la zona. A continuación, se analizan cada uno de estos factores.

#### **3.5.1 Canal de transmisión**

El Nodo B debe estar conectado a la red para poder establecer comunicación con la RNC y transportar toda la información que proviene de los usuarios, así como la señalización necesaria para que la comunicación se establezca de manera correcta, esta interfaz de comunicación se denomina Iub.

En el entorno rural, el uso de radio enlaces es más común en relación con el uso de fibra óptica debido a las irregularidades que presentan ese tipo de zonas, en su mayoría carecen de infraestructura para esta opción y realizar un tendido de varios kilómetros en zonas montañosas resulta un significativo uso de recursos y de presupuesto.

La instalación de un radio enlace si bien es más económica, tiene la desventaja que son más propensos a tener caídas de conexión debido a condiciones meteorológicas, de igual manera si se necesitara hacer futuras extensiones de la red posiblemente conllevaría un costo adicional y además se tendría limitaciones para los próximos enlaces; esto no sucede con implementaciones de fibra óptica. (Salmerón, 2010)

También se considera que el tráfico en la zona no será alto y un enlace de fibra óptica seria sobredimensionar la demanda del servicio por lo que se desaprovecharían recursos. Se escoge como la mejor opción un radio enlace debido a la lejanía, aislamiento de la zona y a que no se tiene previsto alto volumen de tráfico que justifique la inversión en fibra óptica.

#### **3.5.2 Zona del sitio de enlace y difusión**

Para determinar el sitio donde se ubicará el Nodo B se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Línea de vista hacia la mayoría de las zonas a cubrir con el servicio de telefonía celular.
- Línea de vista hacia el punto de conexión con la red.

- Presencia cercana del servicio de energía eléctrica.

La zona al ser montañosa dispone de varias zonas de gran altitud como posibles lugares donde se puede ubicar el Nodo B, al ser una zona con una buena cantidad de población las redes de energía eléctrica se encuentran distribuidas en gran cantidad a lo largo y ancho de este sitio.

Al observar la geografía de la zona existen tres zonas alrededor del punto de mayor población que podrían ser utilizados como emplazamiento debido a que son de una buena altitud, estas tres zonas se detallan en el mapa 1-3.



**Mapa 1-3:** Análisis de locaciones con suficiente altitud y LOS  
Realizado por: Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

El punto de conexión es el AMG de CNT ubicado en la cabecera parroquial Columbe es el más apropiado ya que dispone de enlaces capacidad suficiente para la tecnología 3G, y se ubica específicamente en la posición 1°53'11.76"S, 78°43'24.96"O. De acuerdo con esta ubicación se determina que zona es la más idónea.

- La zona 1 tiene visibilidad hacia todos los puntos excepto la comunidad San Bernardo, pero tiene línea de vista directa con el AMG de CNT
- La zona 2 tiene visibilidad con la mayoría de los sitios poblados excepto con las comunidades de Santa Fe, Pucara y los asentamientos a su alrededor. También dispone de línea de vista directa al AMG
- La zona 3 tiene línea de vista con todas las comunidades excepto con Santa Fe y los asentamientos al oeste sin embargo no tiene línea de vista directo con el AMG ubicado en la cabecera parroquial

Debido a que la zona 3 no tiene visibilidad directa con el sitio de conexión entonces se la descarta; la zona 2 no tiene visibilidad directa con gran parte de las comunidades de Llinllin, la cual posee mayor población por lo que también se descarta.

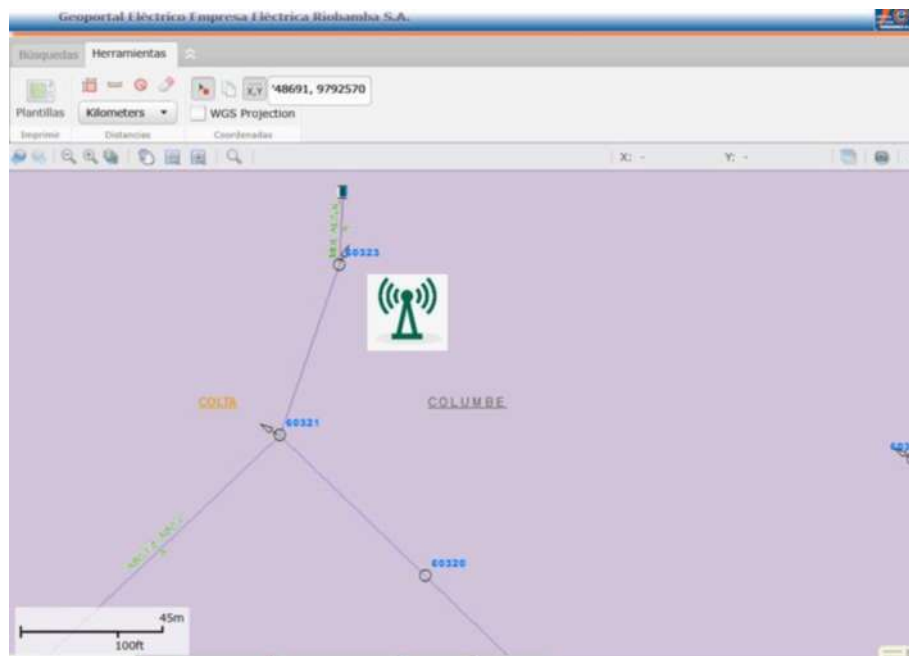
El sitio 1 es el más apropiado a pesar de no tener visibilidad directa con una de las comunidades, sin embargo, representa una cantidad baja de población, y además mediante la generación de una cuenca visual en el mapa que se muestra en el mapa 2-3, se puede constatar que no es una zona de total bloqueo por lo que la señal podría propagarse a través de reflexiones, refracciones o difracciones.



**Mapa 2-3:** Cuenca visual desde la zona 1

**Fuente:** Google, 2017

Una vez determinada la zona se procede a ubicar el Nodo B en un sitio apropiado donde se destaque el sistema radiante, exista línea de vista con el AMG y además se disponga de la red de energía eléctrica a menos de 50 metros. En el portal geográfico de la EERSA se puede observar cómo está distribuida la red eléctrica en la provincia de Chimborazo, gracias a esta herramienta se pudo ubicar una zona en donde existe tendido eléctrico de baja tensión (Empresa Eléctrica Riobamba S.A., 2018) y además que es propicio para el sistema radiante y la conexión, esto se detalla en la figura 1-3.



**Figura 1-3:** Análisis de red eléctrica en la ubicación del Nodo B

Fuente: Geoportal EERSA

### 3.5.3 LOS Y Zona de Fresnel

El lugar de conexión con hacia la red exterior es el AMG de la empresa CNT EP ubicado en la parroquia Columbe y más específicamente en la posición  $1^{\circ}53'11.76''S$ ,  $78^{\circ}43'24.96''O$ , mediante la figura 2-3 se puede observar que existe línea de vista desde la zona hacia el AMG por lo que se evalúa el posible lugar del Nodo B específicamente en la posición  $1^{\circ}52'30.20''S$ ,  $78^{\circ}45'51.96''O$  debido a su cercanía con la red de energía eléctrica.

Se debe comprobar mediante simulación la altura necesaria para que la Zona de Fresnel quede totalmente despejada, para ello se necesita saber a qué banda de frecuencia se emitirá el enlace y el posible ancho de banda que se requerirá.

Para determinar la frecuencia en la que se establecerá el enlace se toma en cuenta las atribuciones detalladas en el Plan Nacional de Frecuencias donde se especifica los diferentes servicios y utilizaciones de cada fracción del espectro radioeléctrico. En el caso de enlaces de microondas destinados para el servicio de telefonía celular el Plan Nacional de Frecuencias se acoge a las normativas definidas por la UIT en las recomendaciones de la serie F de la UIT-R (Astudillo, 2006, p. 78)

Debido a que los enlaces microondas son muy directivos y no se difunden en áreas grandes de terreno resultan ser muy reutilizables y el riesgo de obtener alguna interferencia es relativamente bajo en especial en zonas rurales donde existen grandes distancias, a pesar de esto de igual manera

se regula la utilización de bandas de frecuencia para microondas con el objetivo de que se puedan implementar en gran número en zonas reducidas si así lo requiriera.

Existen parámetros que determinan la utilización un canal de transmisión (Astudillo, 2006, p. 78):

- Sub banda de operación. - Se refiere a la restricción de ciertos equipos a utilizar tan solo ciertas porciones dentro de la banda total de frecuencias que se podría asignar
- Ancho de Banda. - Es el total de porción de espectro que utilizará la información a ser transportada la cual tendrá una portadora central como referencia
- Separación de Transmisión y Recepción. - Debido a que este enlace es full dúplex se debe canalizar porciones de espectro, es decir una frecuencia para transmisión y otra para recepción. Entre estas dos frecuencias debe existir un rango de separación para que el enlace opere correctamente.
- Banda de guarda. - Al existir sub-bandas tanto en transmisión como en la recepción estas necesitan un espacio de separación en cada uno de los canales adyacentes definidos como bandas de guarda.

Existen 3 bandas que se utilizan para los enlaces auxiliares de telefonía móvil determinados por la UIT-R (Astudillo, 2006, p. 79):

- Canalización UIT-R F.385-8.- Ocupa la banda comprendida entre 7100 MHz y 7900 MHz y las separaciones de los canales son de 28, 14, 7, 5 y 3.5 MHz y lograr incluir sistemas de comunicaciones con velocidades de hasta 155 Mbps. Para determinar las frecuencias portadoras de canales se la realiza mediante fórmulas que depende del ancho de banda deseado y el requerimiento de canalización para uplink y downlink.
- Canalización UIT-R F.386-6.- Ocupa la banda comprendida entre 7725 MHz y 8500 MHz y las separaciones de canales son de 29.65, 11.662, 14, 7, 3.5 MHz
- Canalización UIT-R F.636-3.- Ocupa la banda comprendida entre 14.4 GHz y 15.35 GHz y las separaciones de los canales son de 28, 14, 7, 3.5 MHz

Las bandas de canalización de 15 GHz están destinadas a ser mayormente usadas en entornos de enlaces urbanos debido a las distancias cortas, ya que al ser frecuencias elevadas tienen mayor perdida y se compensa con la distancia más reducida. Los canales de 7 y 8 GHz resultan ser los más apropiados para este enlace y cualquiera de los dos puede ser utilizado en este estudio.



**Figura 2-3:** LOS y Zona de Fresnel del Radio enlace

Realizado por: Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

Como se observa en la figura 2-3, mediante una simulación básica en el software Radio Mobile se puede comprobar que existe línea de vista suficiente para establecer el enlace y, además, que a la frecuencia de 7 GHz con un ancho de banda de 14 MHz resulta suficiente que la antena transmisora y receptora estén a un mínimo de 3 metros de altura ya que la peor zona de Fresnel resulta ser 1.8 lo que es mayor al mínimo requerido de 0.6.

Con estos resultados de simulación básicos se comprueba que el enlace tendrá una buena conexión sin tener que usar altura considerable pues la zona de Fresnel está bastante despejada a poca altura.

### 3.5.4 Ubicación exacta del emplazamiento

Tras es el estudio de campo realizado y la exploración de la zona se identificó un terreno propicio que se encuentra a menos de diez metros del poste de energía eléctrica más cercano.





**Figura 3-3:** Ubicación del Nodo B a través de imágenes satelitales  
**Fuente:** Bing Maps, 2018

El sitio corresponde a la parte más alta de una colina, tiene un camino de segundo orden para el acceso, es bastante plano y cuenta con un área suficiente para la infraestructura tal como se puede observar en las figuras 3-3, 4-3 y 5-3. Este punto queda finalmente definido en coordenadas geográficas se expresa como  $1^{\circ}52'30.86''S$ ,  $78^{\circ}45'52.04''O$ . y en el sistema UTM se muestra como 748691, E, 9792570 S de la zona 17S.



**Figura 4-3:** Vista aérea de la ubicación del Nodo B  
**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018





**Figura 5-3:** Vista frontal de la ubicación del Nodo B  
**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

### **3.6      Diseño del Nodo B**

#### **3.6.1      *Sectores de cobertura***

Como es conocido, la telefonía celular divide sus zonas de cobertura en celdas, la cantidad de estas dependerá directamente de las condiciones físicas del terreno, así como también de los usuarios de teléfonos celulares. En entornos urbanos de gran extensión y alta densidad de usuarios estas celdas se agrupan mediante clusters para que sea posible el reúso de frecuencias, y así abastecer la demanda evitando bloqueos del servicio.

En entornos rurales como en el sitio de interés del presente proyecto, se observa con más frecuencia casos en los que la densidad de habitantes es pequeña en relación a la extensión del lugar, dicho esto se opta por implementar una sola macrocelda, esperando así abarcar un área que comprende aproximadamente 3 Km de radio.

La forma típica esperada de la celda a implementar es de tipo hexagonal, asegurando la cobertura en los sitios mencionados en la selección del lugar e integrar las comunidades con la red UMTS existente en la cabecera parroquial.

Esta celda se puede sectorizar en 3 regiones de 120° cada una o también en 6 sectores de 60°; debido a que la zona que se piensa cubrir no es en su totalidad un área circular completa, se puede optar por varias soluciones usando los dos tipos de sectorizaciones mencionados, para poder evaluar cuál de los dos resultaría mejor es necesario realizar simulaciones mediante software.

a) Sectores de 120°

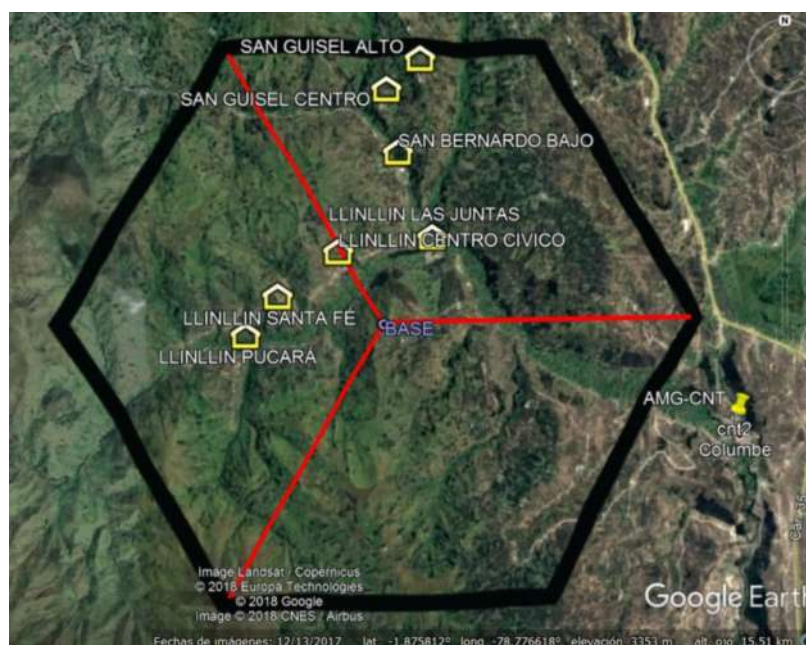
En la tabla 6-3 se detallan los posibles lugares a los que se encontrarían orientados los transmisores.

**Tabla 6-3:** Sectores de 120°

Transmisor	Azimut	Lugares al que está orientado
Tx1	270°	Pucará, Santa Fe, Centro Cívico
Tx2	30°	Las Juntas, San Guisel Centro, San Guisel Alto, San Bernardo, parte de carretera de ingreso.
Tx3	150°	Bosques, casas dispersas y zonas de cultivo.

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

Como se puede observar en el mapa 3-3, se puede abarcar la totalidad de los poblados involucrados en el presente estudio, tan solo usando 2 transmisores correctamente direccionados a los lugares con mayor población, el sector cubierto por el transmisor Tx3 abarca una zona en la que la cantidad de personas no es lo suficientemente significativa y además existe cierto porcentaje de cobertura móvil, por tal motivo sería innecesario el uso de un tercer transmisor.



**Mapa 3-3:** Área de interés sectorizada a 120°

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

b) Sectores de 120°

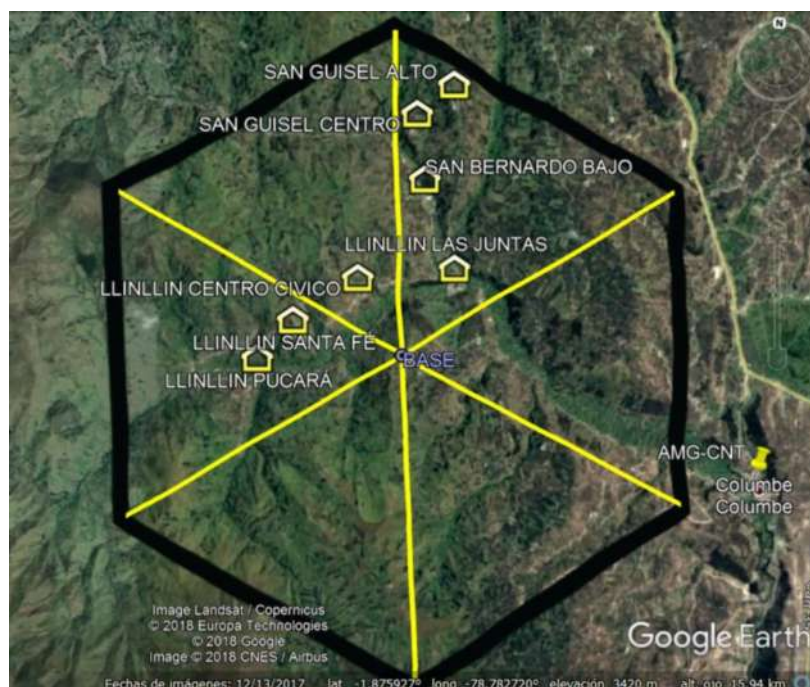
En la tabla 7-3 se detallan los posibles lugares a los que se encontrarían orientados los transmisores.

**Tabla 7-3:** Sectores de 60°

Transmisor	Azimut	Lugares al que está orientado
Tx1	270°	Pucará, Santa Fe.
Tx2	330°	Centro Cívico.
Tx3	30°	Las Juntas, San Guisel Centro, San Guisel Alto, San Bernardo
Tx4	90°	Carretera de ingreso a Llinllin
Tx5	150°	Casas dispersas
Tx6	210°	Zonas de cultivo y bosques

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Al utilizar sectorización de 60° obviamente es necesario más transmisores para cubrir el mismo espacio (ver mapa 4-3), en el caso de los poblados a los que se debe brindar el servicio quedan cubiertos usando tres transmisores; por otro lado, quedan libres 3 sectores de los cuales posiblemente solo uno podría ser necesario, el cual cubre la carretera en el tramo de Llinllin-Columbe central; se debe tener en cuenta que ciertas partes de la carretera si poseen cobertura.



**Mapa 4-3:** Área de interés sectorizada a 60°

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Al sectorizar el área se puede obtener una noción de lo que realmente es necesario en el proyecto, en este caso la opción más favorable tanto en infraestructura y servicio es la *solución 1* usando dos transmisores: Tx1 y Tx2. Se pudo observar que los poblados: Pucará, Santa Fe, Centro Cívico,

Las Juntas, San Guisel Centro, San Guisel Alto y San Bernardo se encuentran en su mayoría dentro de las áreas de servicio además de un pequeño tramo de la carretera de ingreso a la comunidad.

### **3.6.2     *Banda de frecuencias***

Los operadores de telefonía móvil tienen asignadas bandas de frecuencia de acuerdo con los estándares que utilicen, en la actualidad la mayoría están orientados a terminales de tercera generación que son utilizados principalmente para servicios de voz y datos, como es el caso de UMTS que tiene asignadas bandas que están alrededor de los 2000MHz.

Como se ha mencionado en el apartado que describe el enlace punto a punto, la conexión provendrá desde el AMG de CNT. Debido a que resulta más factible que la operadora CNT Móvil se conecte con el AMG de su propia red, y a que es una empresa pública que no se enfoca simplemente en el aspecto económico sino también en el aspecto social, el estudio se enfoca hacia esta operadora móvil y se utilizan las bandas de frecuencia que maneja la misma.

De acuerdo con el estudio de demanda el sector será beneficiado de conexión con tecnología UMTS la cual en esta operadora tiene asignada la banda II (1900 MHz) que comprende en Up-Link: (1850-1910) MHz y en Down-Link: (1930-1990) MHz.

### **3.6.3     *Selección de Antenas***

En esta sección se establece los elementos que permiten propagar y recibir las ondas electromagnéticas, estableciendo el medio de conexión con las estaciones móviles. Para este fin se utilizan antenas que permiten enviar y recibir datos en bandas de frecuencia tanto GSM y UMTS. Dichas antenas deben estar direccionadas de acuerdo con la sectorización previamente establecida.

Las configuraciones de los sistemas de antenas en las torres en las primeras instalaciones se las hacia comúnmente mediante sistemas de diversidad espacial formados por 3 antenas por sector de las cuales 2 eran ocupadas para recepción y una sola para transmisión, en aquella época la ventaja que este tipo de sistemas permitía aumentar la ganancia directiva del conjunto, logrando así que la potencia irradiada por la estación móvil disminuya.

Como alternativa a estos sistemas, la tecnología de nuevos y modernos equipos permite implementar sistemas de diversidad de polarización con una sola antena por sector, esto es posible

mediante el uso de antenas crosspolares (*cross-polarized*), la ventaja de estas principalmente es la opción de usar dos tipos de polarización para transmisión o recepción, reduciendo así el número de antenas por sector a una.

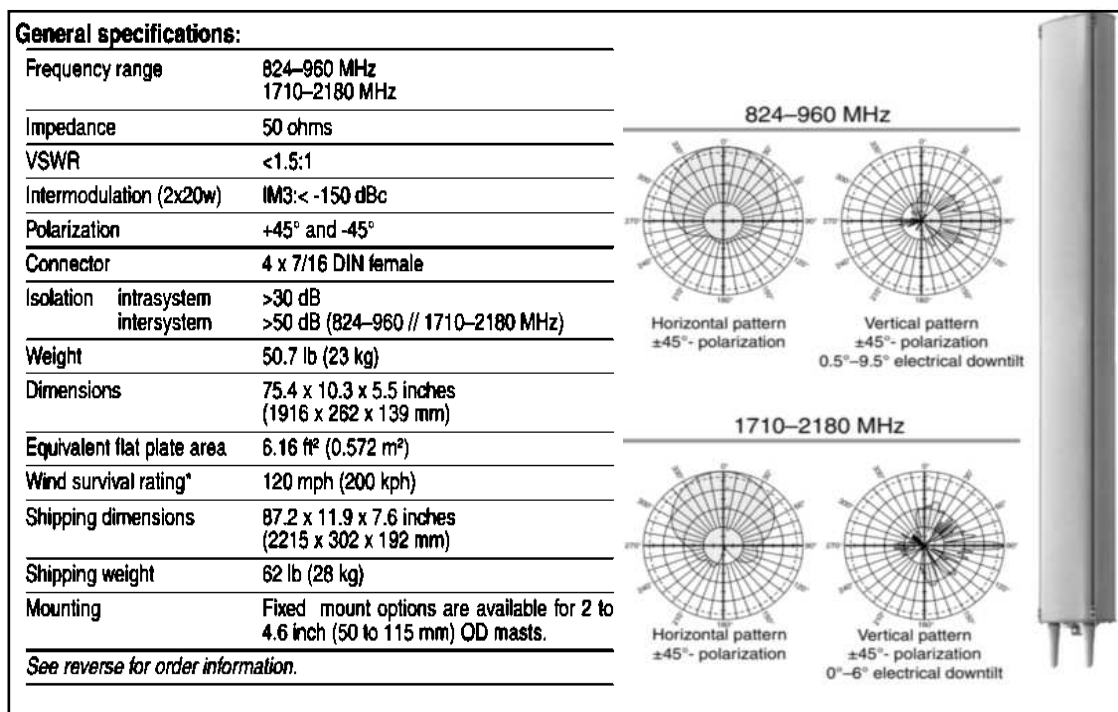
Las antenas que se utilizan dado que son elementos pasivos que no tienen la capacidad de amplificar la señal deben ser de alta ganancia con perfil directivo para que con valores de potencia bajos sean capaces de repartir la señal de manera controlada ofreciendo mayor cobertura a la dirección que estén orientadas, claro que esto también dependerá de su entorno el cual debe estar lo más despejado posible.

El proceso de selección de la antena se realiza en base a los equipos que normalmente se encuentran ubicados en las torres de las principales operadoras de telefonía móvil, tomando en cuenta esas características y los requerimientos del presente proyecto se opta por seleccionar la antena KATHREIN 742 265.

La antena seleccionada es multibanda, en este caso se usa la sección UMTS que ofrece la opción de usar las bandas I, II, y III que en el espectro le corresponde de 1710 MHz a 2170 MHz, entre las características principales están:

- Opera en banda ancha
- Control de ángulo de inclinación (downtilt) de manera remota.
- Varios rangos de ganancia, ancho de haz e inclinación
- Compatible con AISG
- Radomo de fibra de vidrio pultruido de alta resistencia (KATHREIN, 2012)

Las especificaciones generales y los patrones de radiación para las dos bandas de operación se muestran en la Figura 6-3 respectivamente.



**Figura 6-3:** Especificaciones generales de antena KATHREIN 742 265

Fuente: (Kathrein, 2012), url: <http://a2dcorp.us/pdf/kathrein/742265.pdf>

Las especificaciones técnicas para la banda 1900 se detallan en la figura 7-3.

Specifications:	824–894 MHz	880–960 MHz	1710–1880 MHz	1850–1990 MHz
Gain	15.5 dBi	16 dBi	17.8 dBi	18.2 dBi
Front-to-back ratio	>27 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)
Maximum input power per input	500 watts (at 50°C)	500 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)
total power	1000 watts (at 50°C)			500 watts (at 50°C)
+45° and -45° polarization horizontal beamwidth	68° (half-power)	65° (half-power)	66° (half-power)	65° (half-power)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	10.5° (half-power)	10° (half-power)	5.2° (half-power)	5° (half-power)
Electrical downtilt continuously adjustable	0.5°–9.5°	0.5°–9.5°	0°–6°	0°–6°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° 5° 10° T 16 15 15 dB	0° 5° 10° T 18 18 16 dB	0° 3° 6° T 14 15 17 dB	0° 3° 6° T 18 17 17 dB
Cross polar ratio				
Main direction	0°	20 dB (typical)	16 dB (typical)	18 dB (typical)
Sector	±60°	>10 dB	>10 dB	>10 dB

**Figura 7-3:** Especificaciones técnicas de antena KATHREIN 742 265

Fuente: (Kathrein, 2012), url: <http://a2dcorp.us/pdf/kathrein/742265.pdf>

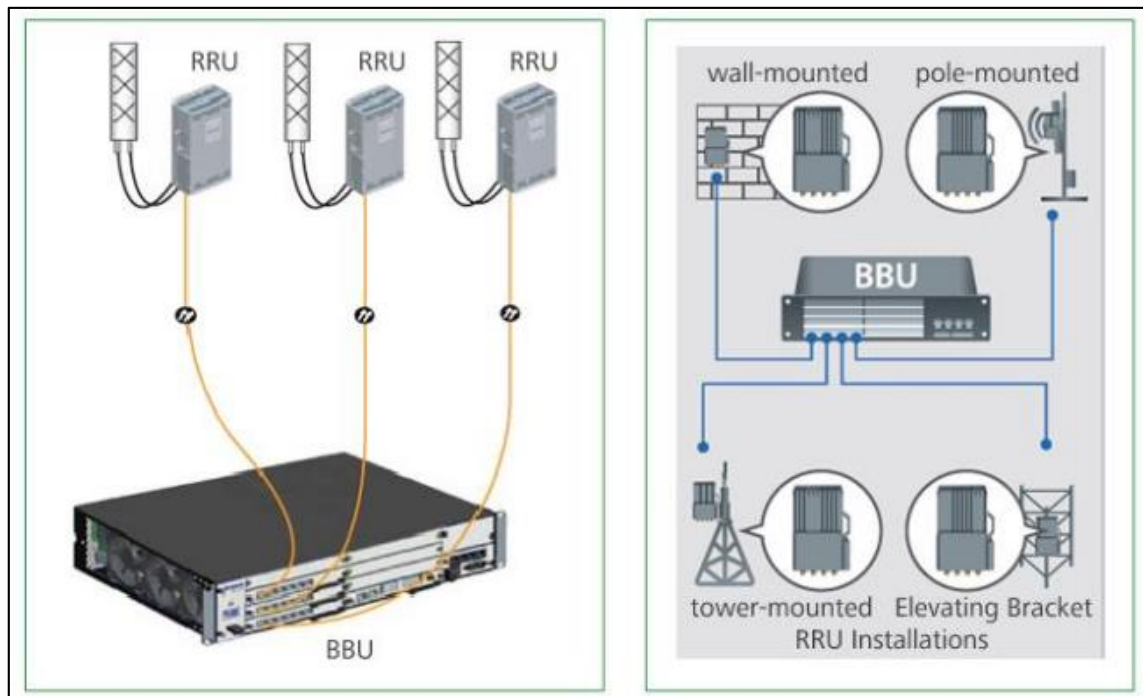
### 3.6.4 Selección de equipos

Para la implementación del nodo B, se toma en cuenta la posible actualización a la red a LTE por lo que se opta por usar equipos que soportan tecnología 2G, 3G y 4G; en este caso se elige la estación base distribuida Huawei DBS3900 la misma que trabaja en las frecuencias 700, 1900 y 2600 MHz.



La plataforma modular consta de una unidad banda base (BBU 3900) a la que se le añaden las unidades de radio remotas (RRU), su diseño permite conformar una estación base de acuerdo con las necesidades que se presenten ya sea añadiendo tarjetas para aumentar la capacidad de transmisión o de darse el caso implementar una nueva tecnología en el nodo.

Debido a que forma parte de la evolución de las más avanzadas tecnologías de LTE, la DBS3900 admite un ancho de banda de hasta 100 Mbits/s y ofrece mayores velocidades de transmisión de datos a los usuarios. (Huawei Technologies, 2016)



**Figura 8-3:** Elementos de la DBS3900

Fuente: (Huawei Technologies, 2016)

En la Figura 8-3 se muestra la forma típica de conexión de la BBU que se interconectan con las RRU mediante cables de fibra óptica. Este sistema DBS3900 permite interconectar hasta 12 RRUs a una sola BBU, para el presente caso se emplea una BBU y 2 RRUs.

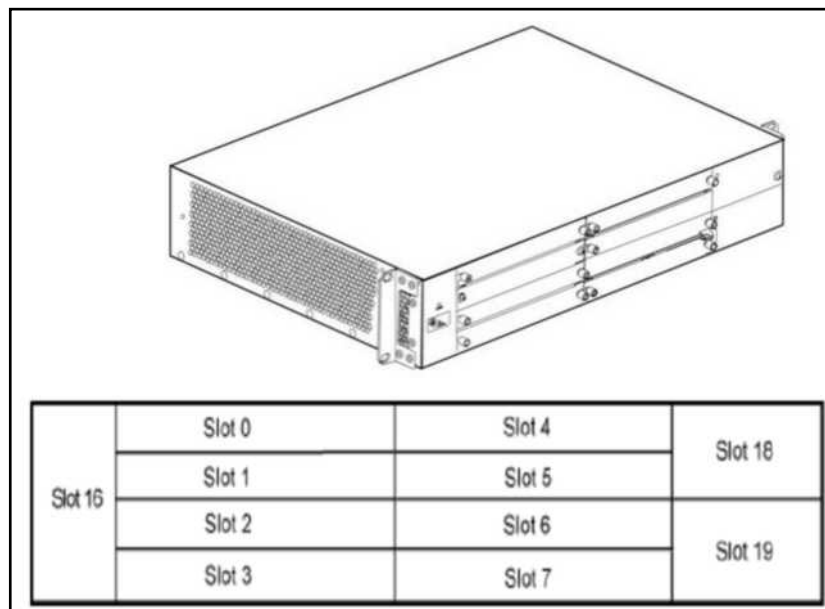
### 3.6.5 BBU3900 y tarjetas

La BBU procesa la señal en banda base (asignación, codificación y decodificación), y es la responsable de la transmisión y recepción de información en la radio base. Además, posee las siguientes características: diseño modular, tamaño pequeño, bajo consumo de energía y se puede desplegar fácilmente. En el caso de la BBU3900 posee varios slots para la instalación de diversas tarjetas dependiendo de la tecnología (GSM, UMTS, LTE). (Espinoza, 2016, pp.23-24)

De esta forma Millán (2017, p.55) describe las funciones principales de esta BBU:

- Gestionar los recursos de cada tecnología
- Proporcionar transmisión al equipo, esto es permitir la interconexión el resto de la red ya sea a través de BSC/RNC o directamente al Core como en el caso de LTE.
- Proporcionar recursos de operaciones y mantenimiento, tanto en local como en remoto. Reporta estadísticos y alarmas a los servidores de gestión y permite la configuración remota. Procesa las señales en banda base tanto las de Uplink como Downlink.
- Provee de los puertos CPRI (Common Public Radio Interface) para la interconexión de los recursos banda base con las unidades RF.
- Gestiona las alarmas externas (aquellas que no son propias de los equipos, pero puede afectar a este): Temperatura del emplazamiento, puerta abierta, incendio, etc.

En la Figura 9-3 se puede observar la numeración que posee cada slot y su ubicación real en la BBU.



**Figura 9-3:** BBU 3900 con respectiva numeración de slots.

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2012)

En este caso se utilizarán tantas tarjetas UMTS y tarjetas universales, también se incorporan tarjetas GSM para brindar servicio a terminales que posean tecnología 2G, y a aquellos que operen en 3G.

Las tarjetas para tener en consideración son:

**Banda base:** UMPT, UBBT

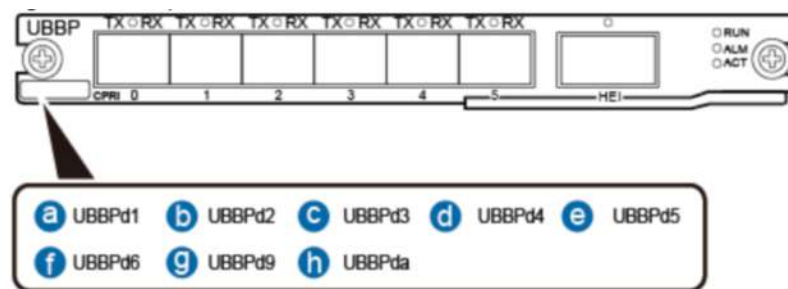
**Potencia:** UPEU, UEIU, FAN.





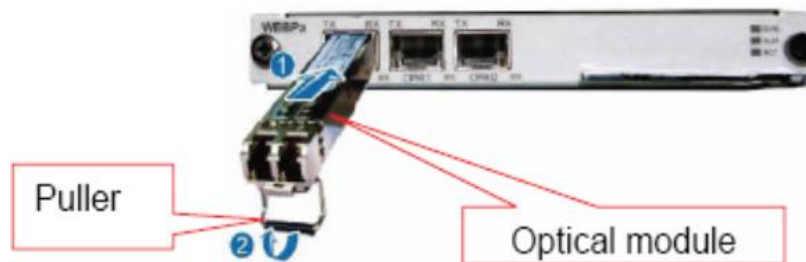
**UBBP.** - Es la unidad de procesamiento en banda base universal, se encarga de procesar las señales de banda base en enlaces de subida y bajada, suministra también varios puertos CPRI para la comunicación con RRUs.

Esta tarjeta universal es utilizada debido a que se planea enviar GSM y UMTS en la misma banda y en un futuro debido a la posible implementación de LTE. El modelo UBBPd6 hace posible la co-transmisión GU, GL, UL, GUL.



**Figura 12-3:** Tarjeta UBBPd6  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

En esta tarjeta se insertan los módulos ópticos CPRI (1 modulo por Sector), estos módulos ópticos se conectan con las RRU mediante fibra.



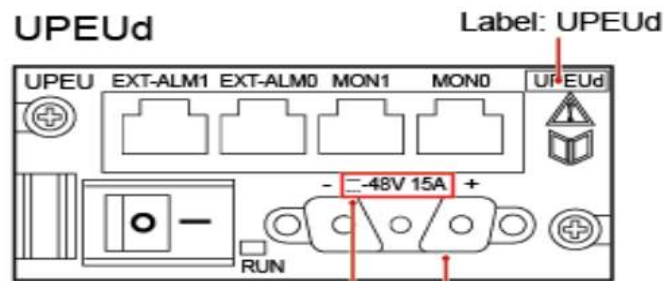
**Figura 13-3:** Transceptor Óptico para conexión en puertos CPRI  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

### 3.6.5.2 Tarjetas para sección de potencia

**UPEU.**- Al usar tarjetas de diferente tecnología la potencia necesaria es mayor, por lo que se opta por usar la UPEUd que soporta una potencia de 650w, en comparación a modelos anteriores como la UPEUc que soporta hasta 360W, y para poder cubrir las necesidades sería necesario utilizar 2 tarjetas ocupando un slot más lo cual sería poco beneficioso en el caso de querer utilizar ese slot

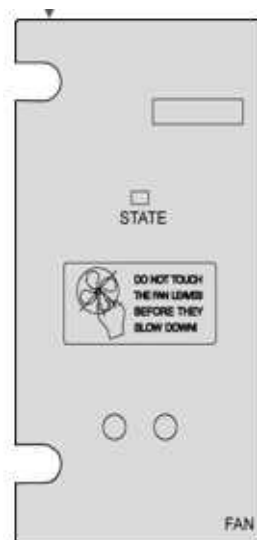
con tarjetas UEIU, que bien podría ser utilizada para ampliar puertos de control de alarmas y monitoreo.

La UPEUd controla la parte de alimentación, y se encarga de convertir -48v DC de entrada en +12v DC, de forma obligatoria debe existir una y como máximo dos del mismo tipo como backup. Proporciona dos puertos de entrada MON y dos puertos para 8 señales de tipo Booleana (EXT-ALM). Estos puertos nos permitirán conectar la BBU a la caja de alarmas.



**Figura 14-3:** Tarjeta UPEUd  
**Fuente:** (Huawei Technologies, 2015)

**FAN.** - Esta tarjeta se encarga del control de la velocidad del ventilador, crea un reporte del estado de la board a la WMPT, detecta la temperatura de la board. Debe existir al menos una tarjeta de este tipo de manera obligatoria.



**Figura 15-3:** Tarjeta FAN  
**Fuente:** (Huawei Technologies, 2015)

**UEIU.** - La “Universal Environment Interface Unit” transmite las señales de alarma y monitorización de los dispositivos externos a la tarjeta principal de control. Es similar a la tarjeta UPEU en cuanto a puertos de entrada MON y puertos EXT-ALM que transmiten cuatro señales booleanas cada uno. La UEIU junto con la UPEU ofrecen la posibilidad de transmitir 16 alarmas

externas en total (8 cada tarjeta); por lo tanto, esta tarjeta puede ser opcional dependiendo de la manera en la que se la use. (Ortiz, 2013, p.21)



**Figura 16-3:** Tarjeta UEIU  
Fuente: (Ortiz, 2013, p.21)

**3.6.6 Distribución de las tarjetas de banda base y potencia en slots de la BBU3900.**

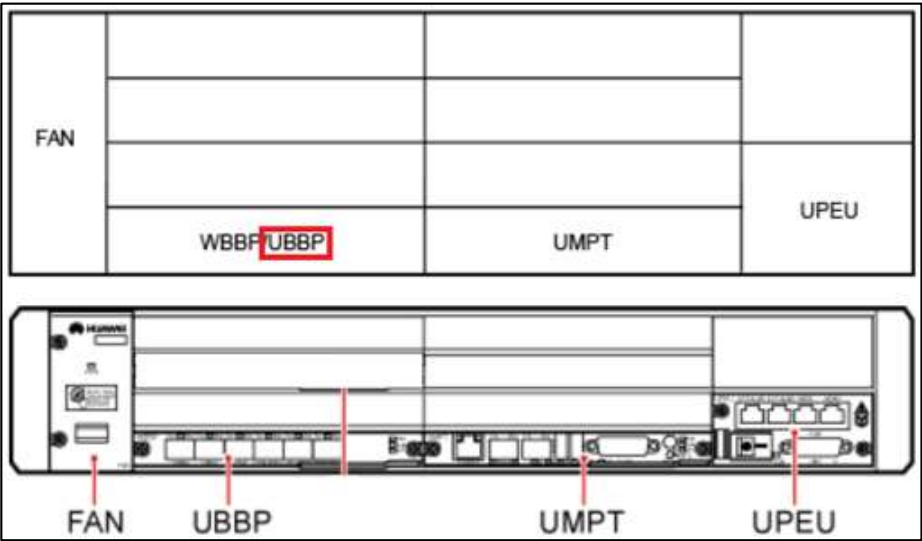
En la Figura 17-3 se presenta la distribución de tarjetas en los slots de la BBU3900:

**Slot 3:** UBBP

**Slot 7:** UMPT

**Slot 16:** UFBA/FAN

**Slot 19:** UPEU



**Figura 17-3:** Distribución de las tarjetas a utilizar en BBU3900  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

### 3.6.7 RRU

La unidad de radio remota es el equipo encargado de acondicionar las señales que la radio base recibe o transmite, esta procesa las señales en banda base y las señales de radio frecuencia tanto en GSM y UMTS; principalmente se encarga de:

- Conversión de proceso de Uplink/Downlink.
- Amplificación de la señal de RF entre la radio base y una terminal celular.
- Control de potencia de la señal radiada, para modificar el área de cobertura de una antena.
- Control de la inclinación del patrón de radiación de la señal de radio emitida por la antena

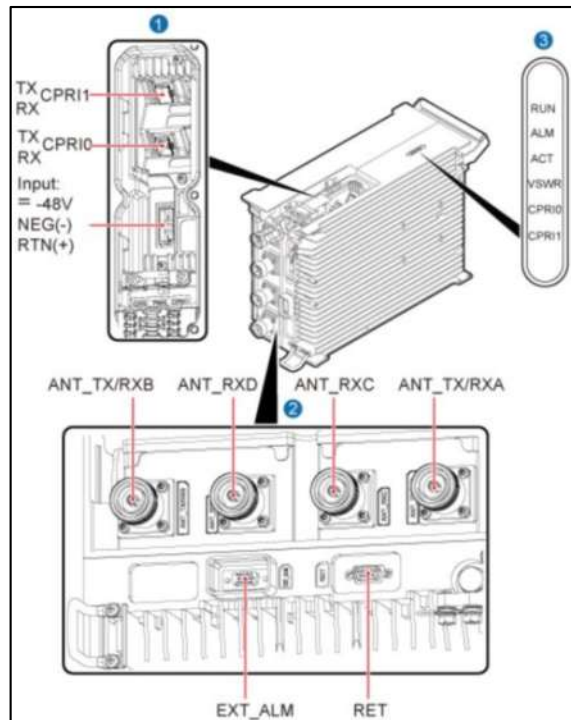
Existen diversos modelos de RRUs compatibles con la BBU3900 en la Tabla 8-3 se muestran las prestaciones de aquellas que operan con GSM y UMTS:

**Tabla 8-3:** Modelos disponibles de RRUs Huawei

	<b>RRU 3908</b>	<b>RRU 3936</b>	<b>RRU 3952</b>	<b>RRU 3953</b>
<b>Tecnologías</b>	G/U	G/U	G/U/GU	G/U/GU
<b>Bandas</b>	850 o 1900	850 o 1900	850	1900
<b>Tipo Blade</b>	No	Si	Si	Si
<b>Canales TXXR</b>	2T2R	1T2R	2T4R	2T4R
<b>Carrier GSM</b>	8 TRXs	8 TRXs	8 TRXs	8 TRXs
<b>Potencia</b>	2x40 W	1x80 W	2x60 W	2x80 W
<b>Peso</b>	23 kg	14 kg	20 kg	20 kg
<b>Dimensiones (H x W x D) (cm)</b>	48,5 x 38,0 x 17,00	40,0 x 30,0 x 10,0	40,0 x 30,0 x 15,0	40,0 x 30,0 x 15,0

Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

Como se puede observar la RRU adecuada para el proyecto es la RRU 3953, la cual posee la ventaja de co-transmitir en GSM/UMTS en la banda de 1900MHz. En la Figura 18-3 se puede observar los puertos físicos de la RRU y su descripción.

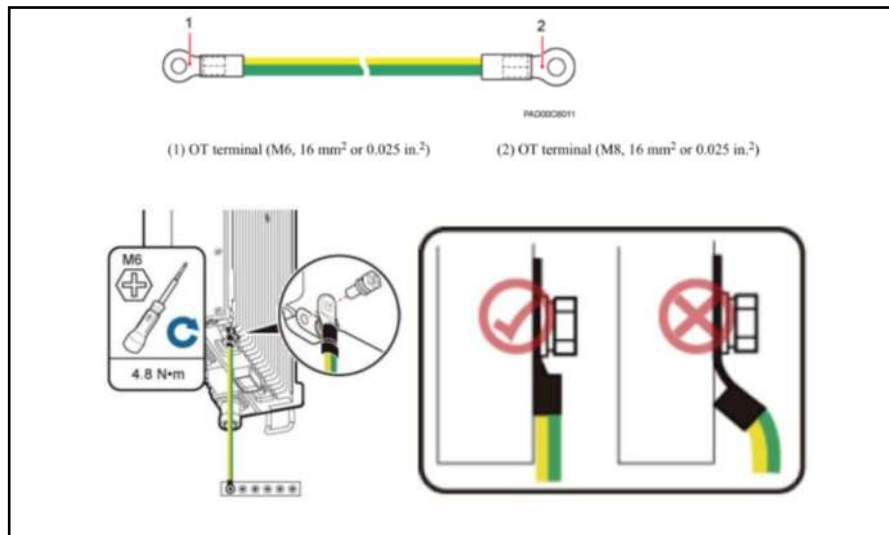


**Figura 18-3:** Puertos físicos en RRU3953  
**Fuente:** (Huawei Technologies, 2015)

### 3.6.8 Cables utilizados en los elementos de la DBS3900

Los cables utilizados para interconectar los elementos de la DBS3900 se presentan en las Figuras 19-3 a 25-3.

**Cable PGND RRU-BBU.** - Las RRUs son aterradas a una barra de cobre por medio de un cable de 16mm<sup>2</sup> de color amarillo y verde, en los extremos del cable se instalan terminales OT; este cable no debe tener una longitud superior a 8 metros. (Huawei, 2015)

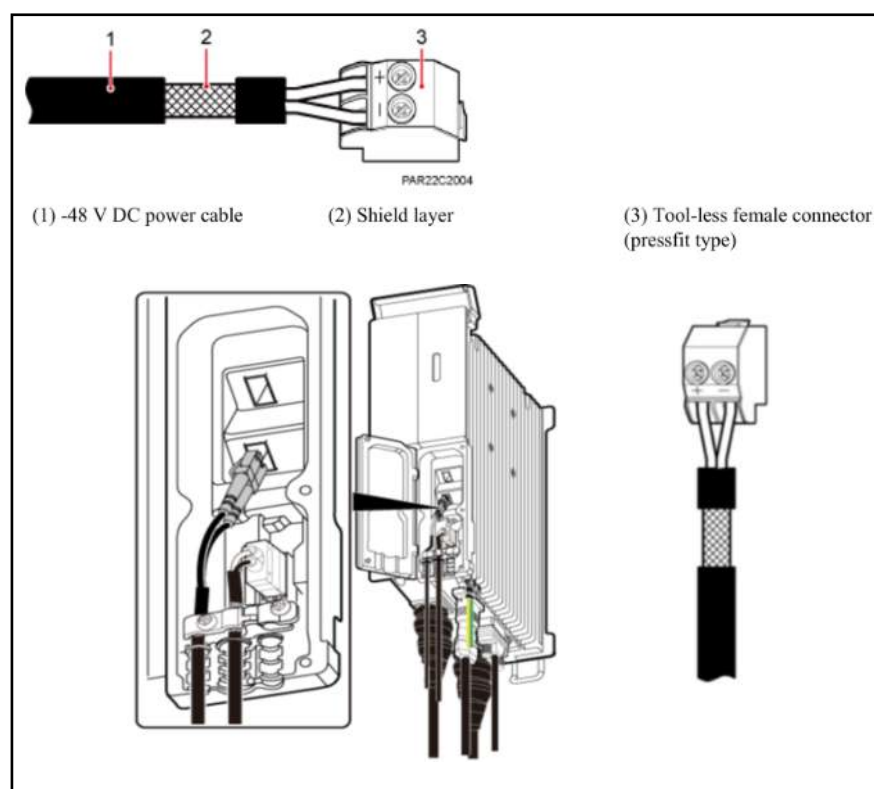


**Figura 19-3:** Cable PGND RRU-BBU

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2015)

**Cable de poder RRU.** - El cable de poder de la RRU es un cable blindado que se encargará de alimentar con -48 VDC a los equipos, y tendrá una longitud máxima entre la fuente de energía y la conexión a RRU no mayor a 100m.

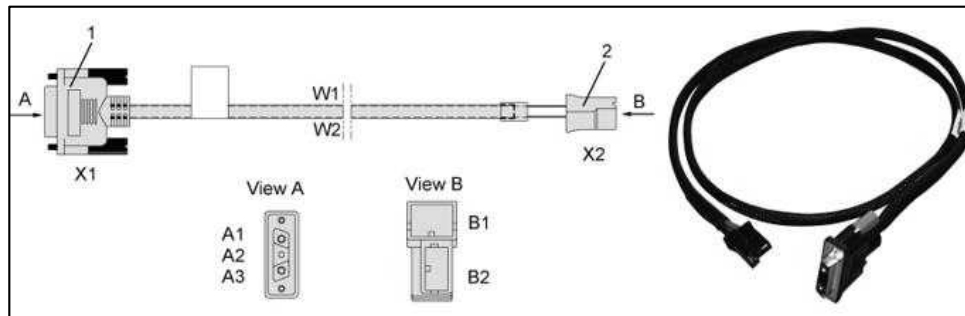
Para la conexión se debe agregar un conector hembra tool-less (tipo pressfit) a un extremo del cable de alimentación de la RRU, de igual manera se debe agregar el terminal correspondiente al otro extremo, de acuerdo con las necesidades en el dispositivo de alimentación externo.



**Figura 20-3:** Cable de poder de RRU3953

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2015)

**Cable de potencia BBU.** - cable encargado de alimentar a la BBU3900 con -48v desde los equipos de potencia

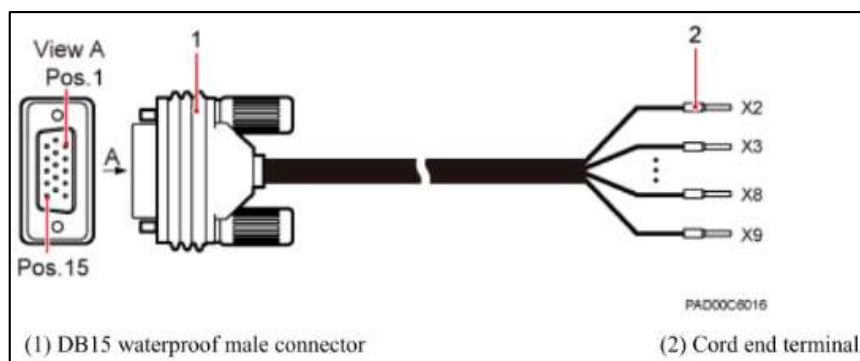


**Figura 21-3:** Cable de potencia BBU3900

Fuente: (Huawei Technologies, 2012)

**Cables de Alarmas RRU.** - En las conexiones de las alarmas se utiliza cable directo blindado, el cual transmitirá las señales de alarma desde los dispositivos externos (antenas) hacia la RRU para que la estación base monitoree el estado operativo de estos dispositivos; este cable no debe ser mayor a los 5 metros.

El cable posee un conector DB15 a prueba de agua en un extremo el cual se conecta a la RRU, y en el otro extremo posee 8 cables terminales como se muestra en la siguiente figura:

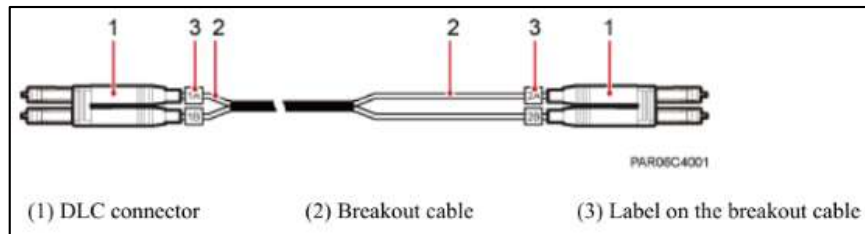


**Figura 22-3:** Cable de alarma RRU

Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

**Cable de fibra óptica CPRI RRU-BBU.** - Los cables de fibra óptica CPRI pueden ser monomodo o multimodo, al usar fibra multimodo la conexión entre BBU y RRU es directa en este caso se puede usar fibras de hasta 100 metros; por otro lado si se utilizan fibras monomodo se debe utilizar un ODF en medio de la conexión, esto implica el uso de pigtails de hasta 20 metros en el lado de la BBU y de 70 metros en lados de la RRU. En este caso se utiliza fibra multimodo.

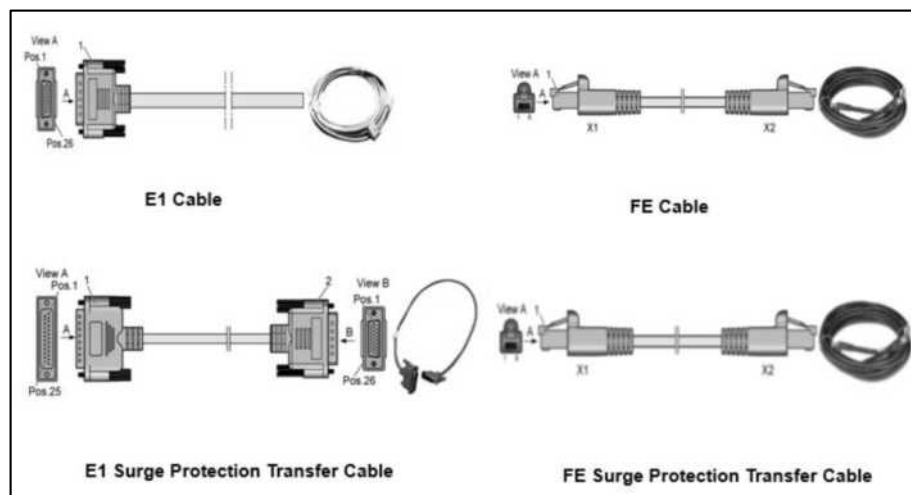




**Figura 23-3:** Cable CPRI de FO multimodo

Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

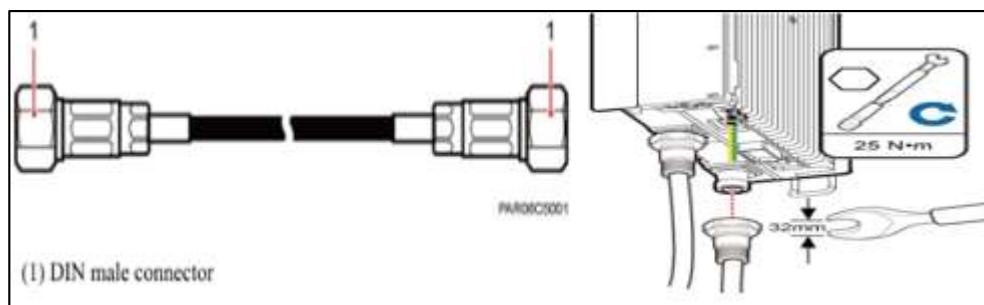
**Cable de transmisión BBU.** - Los cables de transmisión hacia la RNC/BSC pueden ser de diferentes tipos, la BBU puede conectarse a la red principal usando cualquier cable de los que se muestran en la figura 28-3.



**Figura 24-3:** Cables de transmisión de BBU3900

Fuente: (Huawei Technologies, 2012)

**Jumper RF.** - Los jumpers de ½” transmiten y reciben señales entre la RRU y la antena, mediante un cable de longitud fija que puede ser de 2, 3, 4, 6 o hasta 10 metros; estos cables terminan en sus extremos en conectores DIN macho los cuales se conectan a los puertos DIN hembra de la RRU precautelando el no realizar curvas muy cerradas para evitar el daño del cable y si existe un excedente de cable se lo debe enrollar.



**Figura 25-3:** Jumper RF y conexión

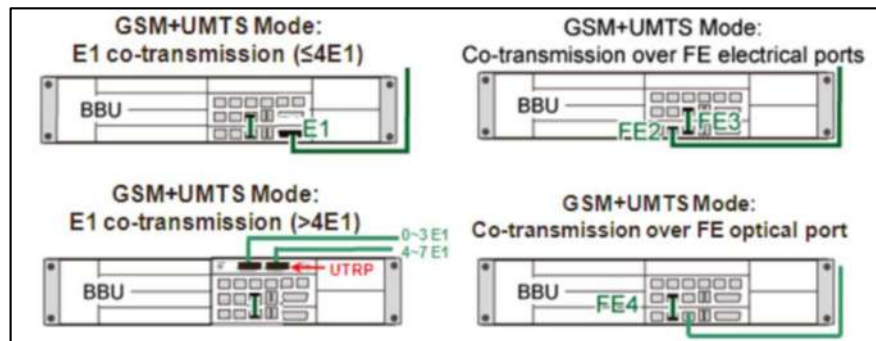
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

### 3.6.9 Conexiones entre equipos

#### 3.6.9.1 Conexión de la BBU con la red (RNC/BSC)

Para la conexión entre la estación base con la RNC existen diferentes tipos de transmisión que se pueden configurar en la BBU, estos dependerán del ancho de banda que se desee para la transmisión, teniendo en cuenta lo que ofrece el radioenlace la transmisión se puede realizar por E1s o por FEs.

La transmisión ya sean por E1s o FEs se configuran separadas o por co-transmisión en este caso la operadora a la que se piensa enganchar la estación base provee el servicio GSM y UMTS en la banda de 1900 por lo que se transmitirá por co-transmisión; en la Figura 26-3 se presentan varios modos de conexión hacia la red.



**Figura 26-3:** Modos de conexión hacia la red

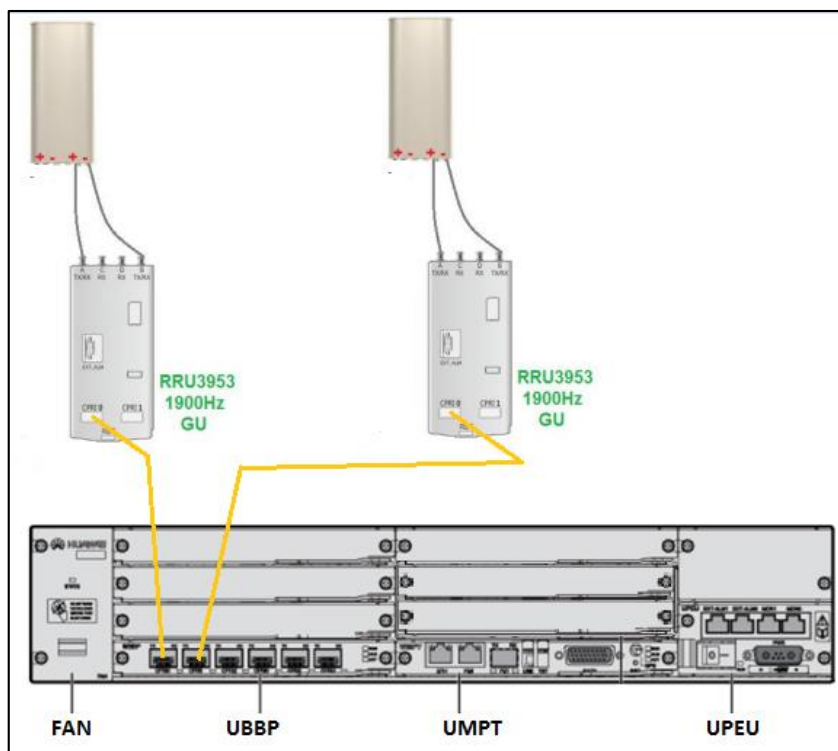
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

#### 3.6.9.2 Conexión de BBU con RRU

La conexión entre BBU y RRU se puede realizar con diferentes configuraciones dependiendo de los requerimientos, como la señal de telefonía 2G y 3G se envía en la banda 1900, la configuración recomendada por Huawei es implementar un escenario sin cascada con CPRI Mux.

Este escenario se lo utiliza cuando la tarjeta de procesamiento en banda base es de tipo universal y se usa múltiples estándares de comunicación móvil, esto es posible gracias a Huawei single RAN, la cual en este caso permitirá la compartición de GSM y UMTS a la vez por cada RRU.

De acuerdo a lo especificado solo es necesario usar un cable CPRI desde un puerto de la UBBP hacia la RRU por sector, en este caso se utiliza los puertos CPRI 0 y CPRI 1. La conexión se muestra en la Figura 27-3.

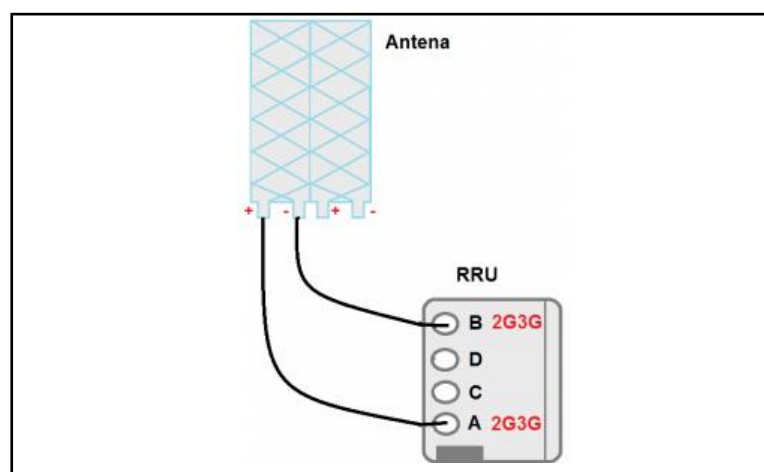


**Figura 27-3:** Modelo de conexión entre BBU3900 Y RRU3953  
Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

### 3.6.9.3 Conexión de RRU hacia antenas

La RRU se conecta con la antena con dos cables de RF llamados Jumper o puentes, dichos jumpers son de cable coaxial, lo que los hace de bajo costo y más manejables; es así como son la forma más utilizada para este tipo de conexiones.

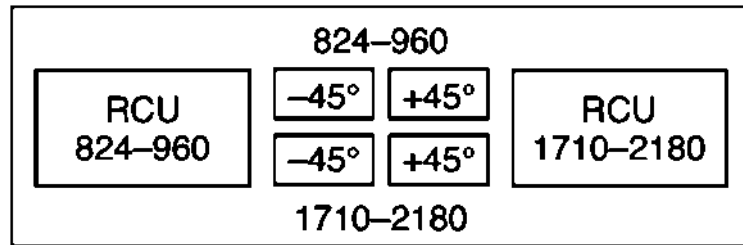
La RRU 3953 consta de 4 puertos RF los cuales están destinados para 2G, 3G o 2G/3G dependiendo de la necesidad, la configuración de co-transmisión se presenta en la Figura 28-3:



**Figura 28-3:** Conexión 2T2R de RRU3953 y antena KATHREIN  
Fuente: (Huawei Technologies, 2017)

#### 3.6.9.4 Conexión en la antena

En el datasheet de la antena se detalla las interfaces que tiene disponibles, en la Figura 29-3 se muestra 2 pares de puertos RF, y dos puertos para la configuración del downtilt que pueden ser utilizados de forma manual o mediante un adaptador se podría realizar la conexión con cables AISG para ser configurado de manera remota.



**Figura 29-3:** Tarjeta UPEUd

Fuente: (Kathrein, 2012). url: <http://a2dcorp.us/pdf/kathrein/742265.pdf>

En la Figura 30-3 se presentan los puertos RF que deben ser ocupados:



**Figura 30-3:** Conectores a utilizar en antena incluido RCU.

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

#### 3.6.10 Simulación de Cobertura

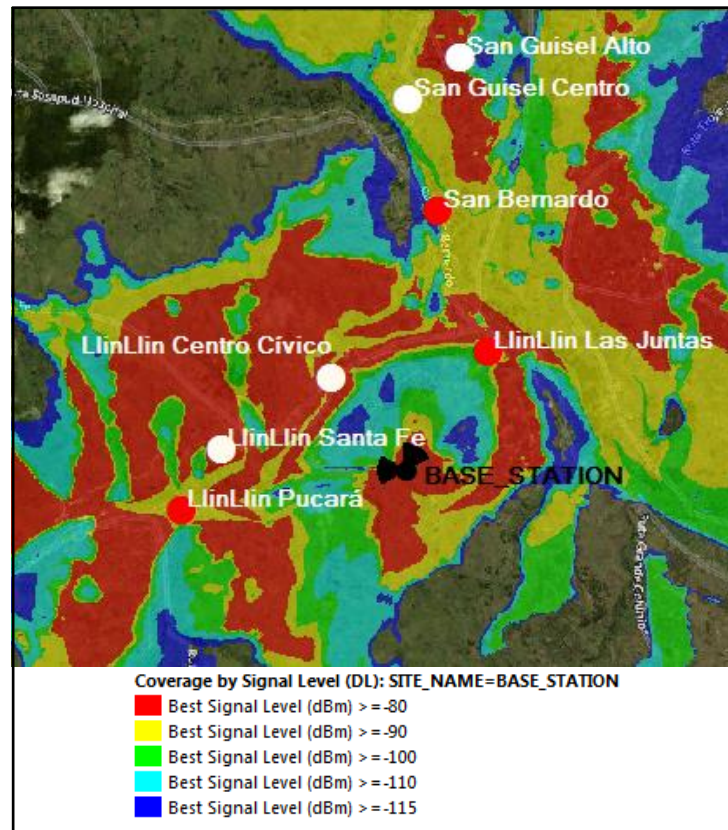
Mediante un software de simulación profesional se presenta la cobertura sobre las comunidades de Llinllin, tomando en cuenta parámetros de antenas, potencia de transmisión, modelos de propagación, área de aplicación, en la Tabla 9-3 se presentan los datos utilizados para la simulación:

**Tabla 9-3:** Datos para simulación de cobertura.

<b>GENERAL</b>	
Ubicación de la torre	-78,764718; -1,875069
Banda de frecuencias	1850 MHz – 1990 MHz
<b>TRANSMISOR 1</b>	
Altura	30 m
Ganancia de antena	18,2 dB
Ancho de haz en polarización horizontal	65°
Acimut mecánico Tx1	270°
Perdidas por feeder (3m) en transmisión	1,31 dB
Perdidas por feeder (3m) en la recepción	-2,12dB
Factor de ruido (dB)	4 dB
<b>TRANSMISOR 2</b>	
Altura	30 m
Ganancia de antena	18,2 dB
Ancho de haz en polarización horizontal	65°
Acimut mecánico Tx1	30°
Perdidas por feeder (3m) en transmisión	1,31 dB
Perdidas por feeder (3m) en la recepción	-2,12dB
Factor de ruido (dB)	4 dB
<b>CELDA</b>	
Carrier	9662
Potencia Máxima	46 dBm
Potencia Piloto	33 dBm
Potencia SCH	21
HSPA support	HSDPA
HSDPA Power	40 dBm
HS-PDSCH numero de códigos	Min=1    Max=15
HS-SCCH	Dinámico
Máximo número de usuarios HSDPA	64
Algoritmo	Dinámico
<b>PROPAGACION</b>	
Modelo de propagación	Cost-Hata
Radio de cobertura	3500m
Resolución	1m

**Realizado por:** PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

Los niveles de potencia de señal referenciales que se utilizan en la simulación, se establecen de acuerdo a niveles establecidos por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones en su publicación: “*3G TS 25.215 version 3.1.1*”, en el cual sugieren que la potencia mínima para poder mantener comunicación con la estación base es de -115dBm.



**Mapa 5-3:** Área de interés cubierta por radiación de antenas.  
**Realizado por:** PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

En la Mapa 5-3 se puede apreciar que en la simulación se logra cubrir los sectores requeridos ofreciendo niveles de cobertura que se encuentran dentro de los márgenes establecidos y que en su mayoría coinciden con valores de potencia de las principales operadoras del país; sin embargo, existe zonas como Llinllin las Juntas y San Bernardo en el sector 2 y Llinllin Pucara en el sector 1, que si poseen cobertura celular, pero pueden mejorar en relación con la cantidad de personas que habitan el sector.

Los niveles de potencia en dichos sectores son los siguientes:

**Llinllin Pucará**  $> -90\text{dBm}$

**Llinllin Las Juntas**  $> -100\text{dBm}$

**San Bernardo**  $> -110\text{dBm}$

En los dos sectores, una parte de la potencia se va a las montañas que rodean los sitios, dado que los sectores afectados se encuentran a alturas más bajas es necesario direccionar la inclinación de las antenas (Downtilt) para ofrecer a los poblados la mejor cobertura posible sin perjudicar a los poblados aledaños que se encuentra en locaciones un poco más elevadas a estos.

### 3.6.10.1 Cálculo de downtilt

El downtilt de una antena influye en la limitación de nuestra cobertura, esto se da gracias a que al modificar el ángulo de inclinación de la antena se puede orientar el lóbulo principal hacia puntos en los que se desee tener cobertura o establecer límites de la misma. En este caso se orienta la antena a un punto medio en los poblados, esperando así mejorar su cobertura procurando no perjudicar a otras zonas aledañas que si bien deben poseer cobertura su densidad poblacional no es tan alta como para priorizarlos respecto a los otros.

El valor de downtilt viene dado por la fórmula:

$$\beta = 90^\circ - \arctan\left(\frac{1}{H_a + H_{ta} - H_{to}} * D_p\right) + FH * AH$$

$H_a$  : Altura de la antena

$H_{ta}$  : Altura del terreno de la antena

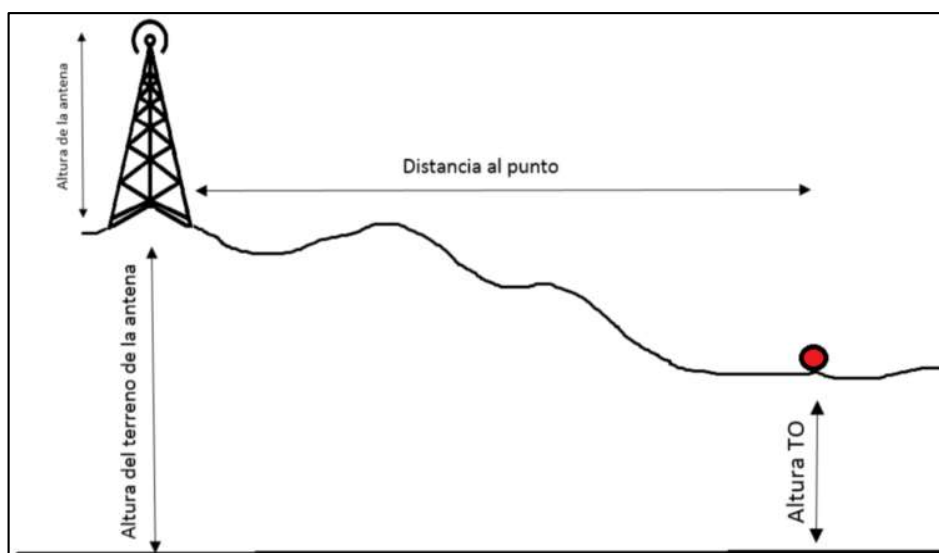
$H_{to}$  : Altura del terreno objetivo

$D_p$  : Distancia al punto

FH: Factor de haz

AH: Ancho de haz vertical

En la Figura 31-4 se observa un esquema del escenario en el que será viable el cálculo de downtilt:



**Figura 31-4:** Escenario general para cálculo de downtilt

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018



a) Sector 1

Como se muestra en el mapa 6-3, en el sector 1 se establece un punto que se encuentra a la misma altura de Llinllin Santa Fe y en la misma longitud de Llinllin Pucará, teniendo en cuenta la dirección a la que apunta el Tx1.



**Mapa 6-3:** Escenario para cálculo de downtilt en Sector 1

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

En la Figura 32-3 se muestra el perfil de elevación con los datos requeridos de distancia desde la torre al punto y su elevación.



**Figura 32-3:** Perfil de elevación en Sector 1

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018



Los valores para el caso de Tx1 se presentan en la Tabla 10-3.

**Tabla 10-3:** Tilt calculado para Tx1

SECTOR 1	TRANSMISOR Tx1
H ant	20 m
H terreno_antena	3558 m
H terreno_borde_celda	3455 m
D borde celda	1,93 km
Factor Haz	0,5
Ancho de haz vertical	5°
<b>Tilt calculado</b>	<b>6,44°</b>

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

#### b) Sector 2

En la Figura 7-3 se aprecia que en el sector 2 se establece un punto medio entre los poblados de Llinllin las Juntas y san Bernardo que son los que se encuentra en locaciones de baja altura en comparación a los demás, se espera mejorar la cobertura en Llinllin las Juntas y San Bernardo, manteniendo la potencia recibida en San Guisel Centro y San Guisel Alto.



**Mapa 7-3:** Escenario para cálculo de downtilt en Sector 2

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

En la Figura 33-3 se muestra el perfil de elevación con los datos requeridos de distancia desde la torre al punto y su elevación.



**Figura 33-3:** Perfil de elevación en Sector 2  
Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Los valores para el caso de Tx2 se presentan en la Tabla 11-3.

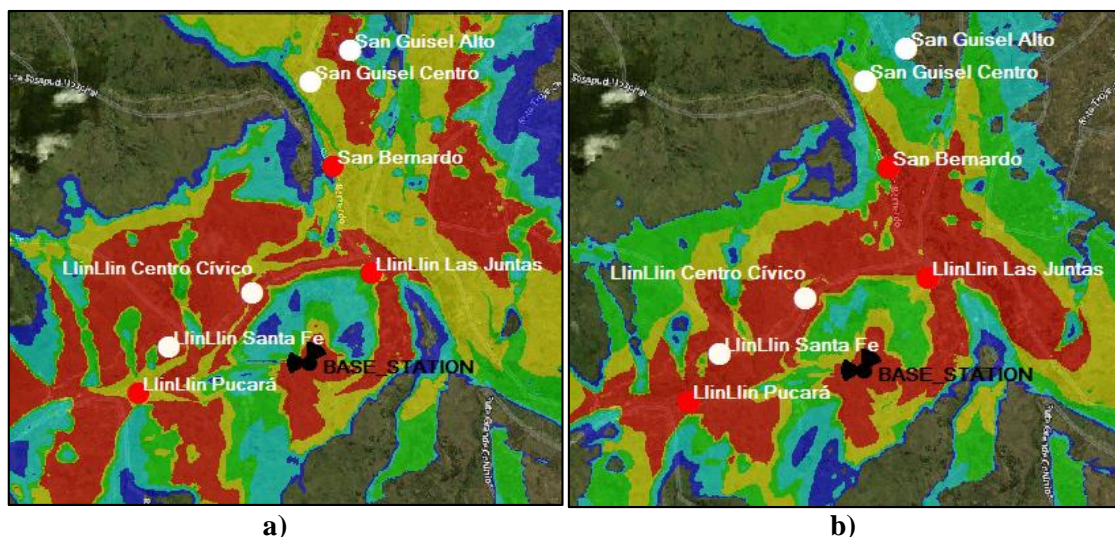
**Tabla 11-3:** Tilt calculado para Tx2

SECTOR 2	TRANSMISOR Tx2
H ant	30m
H terreno_antena	3558 m
H terreno_borde_celda	3258 m
D borde celda	1,74 km
Factor Haz	0,5
Ancho de haz vertical	5°
<b>Tilt calculado</b>	<b>13,23°</b>

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

### 3.6.10.2 Resultado final de la cobertura

Los resultados de cobertura una vez realizado el downtilt en los dos transmisores se pueden apreciar a simple vista, la cobertura en los sectores ya mencionados mejora considerablemente, y los poblados aledaños no sufren cambios significantes.



**Mapa 8-3: a) Cobertura sin aplicar downtilt; b) Cobertura aplicando downtilt.**  
**Realizado por:** PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Como se observa en el mapa 8-3 los niveles de potencia de señal recibida para los sectores en los que se direccionó los transmisores mediante downtilt se incrementan 10dB cada uno en relación a la anterior simulación.

Nivel de potencia mejorada:

**Llinllin Pucará:** > -80dBm

**Llinllin Las Juntas:** > -90dBm

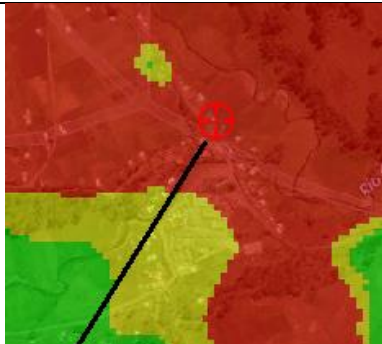
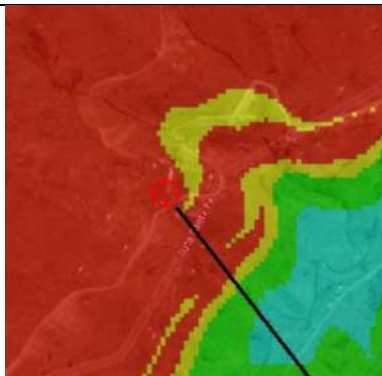
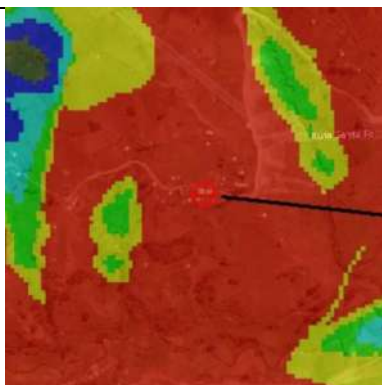
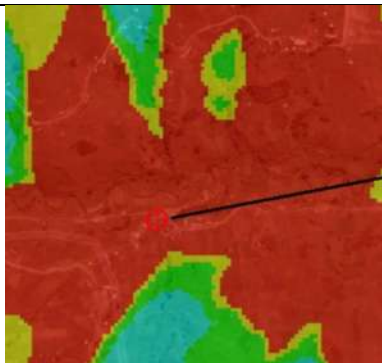
**San Bernardo:** > -100dBm

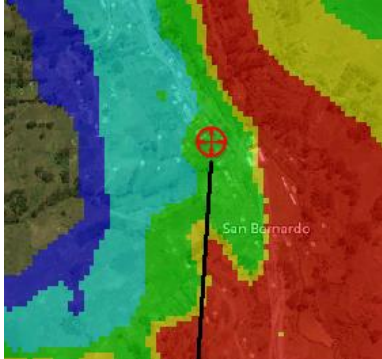
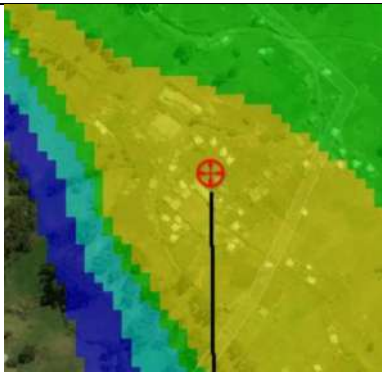

### 3.6.10.3 *Potencia de señal en cada sector de la comunidad Llinllin*

En la Tabla 12-3 se presenta los resultados de cobertura para cada poblado, en los que se puede apreciar que San Guisel Alto es el único poblado en no beneficiarse por completo de la cobertura, pero al estar en la zona más alta de la comunidad se ve beneficiada por estaciones base aledañas, con lo cual compensa dicha deficiencia.

En los poblados restantes la cobertura se da al cien por ciento, cubriendo en su totalidad todas las zonas que antes no disponían de ningún tipo de señal propia o de otras estaciones base.

**Tabla 12-3:** Resultados de cobertura en Llinllin y sus alrededores.

SITIO	COBERTURA	RESULTADOS	
Llinllin las Juntas		Distancia:	1252m
		Path Loss:	117,87dB
		RSCP:	-67,38dBm
		Ec/Io:	-4,63dB
Llinllin Centro Cívico		Distancia:	932m
		Path Loss:	126,31 dB
		RSCP:	-75,82 dBm
		Ec/Io:	-4,68dB
Llinllin Santa Fe		Distancia:	1373m
		Path Loss:	116 dB
		RSCP:	-65,76 dBm
		Ec/Io:	-7,12 dB
Llinllin Pucara		Distancia:	1775m
		Path Loss:	119,12 dB
		RSCP:	-68 dBm
		Ec/Io:	-9,67 dB

<b>San Bernardo</b>		<table><tr><td>Distancia:</td><td><b>2004m</b></td></tr><tr><td>Path Loss:</td><td><b>145,06dB</b></td></tr><tr><td>RSCP:</td><td><b>-94,57dBm</b></td></tr><tr><td>Ec/Io:</td><td><b>-4,67 dB</b></td></tr></table>	Distancia:	<b>2004m</b>	Path Loss:	<b>145,06dB</b>	RSCP:	<b>-94,57dBm</b>	Ec/Io:	<b>-4,67 dB</b>
Distancia:	<b>2004m</b>									
Path Loss:	<b>145,06dB</b>									
RSCP:	<b>-94,57dBm</b>									
Ec/Io:	<b>-4,67 dB</b>									
<b>San Guisel Centro</b>		<table><tr><td>Distancia:</td><td><b>2794 m</b></td></tr><tr><td>Path Loss:</td><td><b>138 dB</b></td></tr><tr><td>RSCP:</td><td><b>-87,51 dBm</b></td></tr><tr><td>Ec/Io:</td><td><b>-4,7 dB</b></td></tr></table>	Distancia:	<b>2794 m</b>	Path Loss:	<b>138 dB</b>	RSCP:	<b>-87,51 dBm</b>	Ec/Io:	<b>-4,7 dB</b>
Distancia:	<b>2794 m</b>									
Path Loss:	<b>138 dB</b>									
RSCP:	<b>-87,51 dBm</b>									
Ec/Io:	<b>-4,7 dB</b>									
<b>San Guisel Alto</b>		<table><tr><td>Distancia:</td><td><b>3135 m</b></td></tr><tr><td>Path Loss:</td><td><b>153,63 dB</b></td></tr><tr><td>RSCP:</td><td><b>-103,13 dBm</b></td></tr><tr><td>Ec/Io:</td><td><b>-7,49 dB</b></td></tr></table>	Distancia:	<b>3135 m</b>	Path Loss:	<b>153,63 dB</b>	RSCP:	<b>-103,13 dBm</b>	Ec/Io:	<b>-7,49 dB</b>
Distancia:	<b>3135 m</b>									
Path Loss:	<b>153,63 dB</b>									
RSCP:	<b>-103,13 dBm</b>									
Ec/Io:	<b>-7,49 dB</b>									

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Adicionalmente a los valores de potencia de señal, que si bien ofrecen un punto de vista amplio de los lugares en los que existe cobertura celular, existen parámetros adicionales que permiten determinar qué tipos de servicios pueden desarrollarse de una manera eficiente en los terminales móviles de los usuarios.

La energía de canal CPICH sobre interferencia ( $E_c/I_o$ ) es un parámetro para el análisis de áreas de cobertura. Dicha relación indica la calidad del servicio que brinda el proveedor. El valor de  $E_c/I_o$  es un valor variable debido a que depende de la interferencia inmersa en el canal piloto, además de la carga de tráfico.

$E_c/I_o$  se expresa en [dB].

- $E_c$ = Energía (potencia) de canal piloto CPICH.
- $I_o$ = interferencia de canales de otras celdas y tráfico de canales de otros usuarios.



- $I_o = E_c + \text{otros canales de la misma celda} + \text{tráfico} + \text{interferencia de celdas vecinas.}$

$$E_c = 2w$$

$$I_o = 2w + 1w + 1,13w + 40w$$

$$\frac{E_c}{I_o} = \frac{2}{44,13}$$

$$\frac{E_c}{I_o} = 0,045$$

$$\frac{E_c}{I_o} = -13,43dB$$

Este valor de  $E_c/I_o$  es el mínimo necesario para asegurar que los servicios brindados desde la estación base lleguen al usuario.

### 3.6.11 Simulación de Capacidad

Para el cálculo de la capacidad de las celdas es necesario empezar por determinar los posibles clientes que podrían existir en la zona, en la sección 3.11 se detalla la segmentación de mercado y las proyecciones de crecimiento de clientes anualmente.

Según la tabla 30-3 tiene un total de 358 clientes potenciales para los primeros dos años los cuales están distribuidos a lo largo de la zona de cobertura. De acuerdo con el software de simulación se necesitan 3 parámetros para analizar el tráfico generado por una zona determinada y son:

- **Mapa de distribución poblacional**

Es necesario para estimar la carga que tendría que soportar el nodo B cuando un número determinado de usuarios se conectan al mismo tiempo. Se crea entonces un mapa de tráfico para poder realizar simulaciones de conexión de usuarios distribuidos a lo largo de un área, en base todos asentamientos humanos que se puede observar por imágenes satelitales y que forman parte del grupo de habitantes que se brindara cobertura se dibuja un polígono.

Tras la creación del polígono se tiene un área de 10.026 Km<sup>2</sup> y con los 358 clientes potenciales al cabo de dos años se tiene una densidad de 36 suscriptores por Km<sup>2</sup>

- **Movilidad**

Se refiere a que tipo de movilidad tienen los usuarios de la zona, los cuales pueden ser pedestres o tener velocidades más altas en caso de existir vehículos que transitan la zona. En este caso debido a que es una zona rural donde el movimiento vehicular es reducido se toma el perfil de usuarios pedestres que no superan los 3km/h

- **Tipo de usuario**

Se define el tipo de usuario que transitara por la zona al cual se le asigna tres servicios que serán comunes:

- Voz: Requerimiento de 12 Kbps DL 12 kbps UL con un promedio de 0,2 llamadas por hora y una duración de 240 segundos
- Internet móvil básico (UMTS R99): Requerimiento de 384 Kbps DL 384 kbps UL
- Internet de mayor velocidad (HSDPA): Requerimiento de paquetes HSDPA de hasta 14.4 Mbps en DL

Se define también el tipo de terminal celular que requiere cada servicio:

- HSPA Mobile: Teléfono celular con la capacidad de soportar HSDPA Categoría 10 de hasta 14.4 Mbps, con una sensibilidad de -110 dBm y potencia de transmisión de hasta 24 dBm
- Standard Mobile: Teléfono celular que soporta solamente UMTS R99 con una sensibilidad de 110 dBm y una potencia de transmisión de hasta 24 dBm

De esta manera se escoge el terminal HSPA para el servicio de internet de mayor velocidad y el terminal estándar debido a que un teléfono celular siempre buscara conectarse a la red de mayor velocidad y si no lo hace, obtendrá servicio de paquetes de R99. Para el servicio de llamadas de voz se utiliza simplemente el terminal estándar.

## **Resultados**

Una vez definido el perfil del mapa de tráfico con los datos de densidad poblacional, movilidad del usuario y tipo de servicios que se demandan se procede a realizar una simulación en el software, el cual de acuerdo con estos parámetros determina una muestra aleatoria de usuarios que se podrían conectar al Nodo B en un determinado momento usando diferentes servicios. Esta simulación también estará en base a las potencias de transmisión de cada sector tanto en UMTS como en HSDPA.

Para que el servicio fuera suficiente para brindar conexión a más del 90% de los usuarios que se conectan al mismo tiempo se realizaron algunas optimizaciones

- Al incrementar la potencia a 43 dBm o 46 dBm también se incrementó la velocidad máxima de conexión, pero se obtuvo mayores valores de saturación en las celdas debido a que ciertos usuarios podrían acceder velocidades mayores y así ocupar mayor cantidad de recursos y bloquear a los usuarios que demandan menores servicios, reduciendo así la cantidad de usuarios que se conectan a la estación. Se definió entonces una potencia de HSDPA de 40 dBm con lo que según las pruebas de calidad de servicio en el mapa 9-3

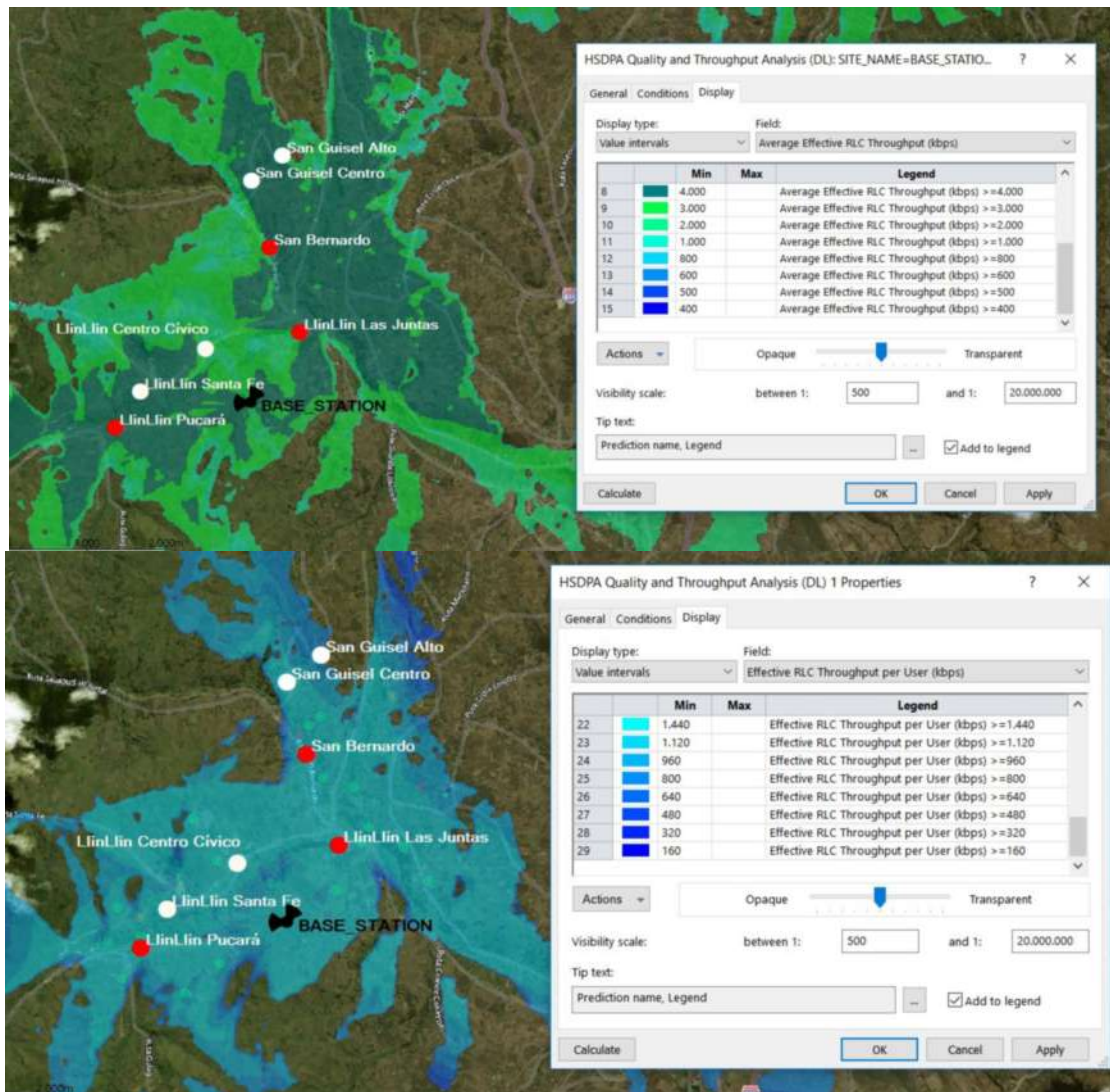
se puede llegar hasta 4 Mbps de velocidad idealmente con pocos usuarios, pero que al simular con un número alto de usuarios conectados podrían llegar a un máximo de 1.12 Mbps.

- Se modificó el número de Channel Elements que disponía el Nodo B por defecto con un aumento de 256 a 1024, esto gracias a las especificaciones de DBS 3900 en la cual se detalla que la UBBPd6 dispone de hasta 1024 tanto en Uplink como en Downlink. Con esto se superó las saturaciones ocasionadas por el uso excesivo de Channel Elements
- El factor de carga de UMTS R99 se encuentra por defecto con una potencia total transmitida de 43 dBm de 46 dBm es decir el 50% de la total disponible, esto ocasionaba saturaciones del canal de Downlink por lo que se optó por aumentar a 44 dBm equivalente al 63 %.
- Se utilizó más de 2 canales HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel) para que no exista saturación de estos al momento de acceso de usuarios de internet de mayor velocidad.
- Se utilizó HSUPA para lograr velocidades más altas en Uplink con una potencia de 37 dBm lo cual no afectó en lo absoluto al canal de transmisión de subida.

Se realizó un total de 10 simulaciones en las cuales se registró caídas de servicio de hasta un 15% de usuarios que intentan acceder a las celdas, pero en la mayoría se obtuvo porcentajes menores al 10% por lo que la estación está en condiciones de soportar los usuarios que demanden el servicio hasta el 2 año de su implementación.

Se analiza dos de las simulaciones, primero con una muestra de usuarios pequeña que no representa una carga significativa para las celdas y otra muestra con una cantidad de usuarios más alta en la que empiezan a reducirse los parámetros de calidad de recepción.





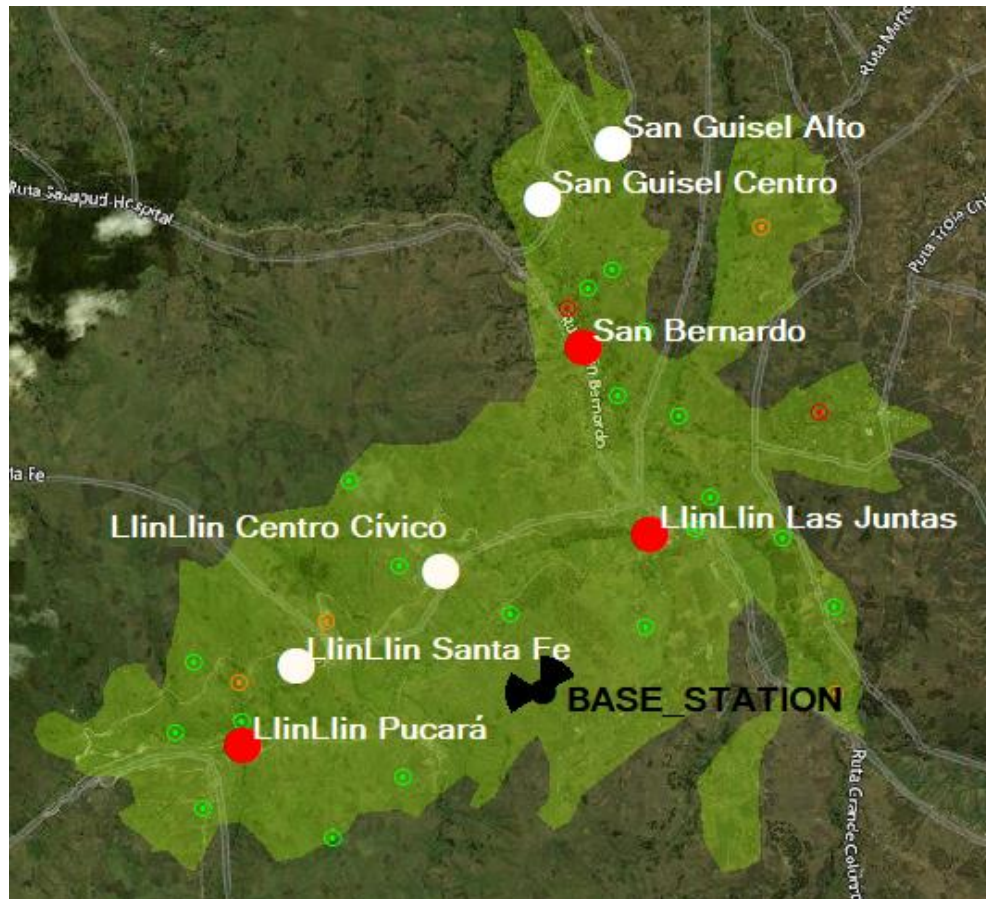
**Mapa 9-3:** Comparación entre el thruoutput HSDPA disponible ideal y el de una celda cargada  
**Realizado por:** PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

En la tabla 13-3 se muestra los resultados de la simulación con una muestra de 13 usuarios con servicios aleatorios en la cual se registró niveles de  $E_c/I_o$  bastante altos de entre -4 y -10 dB por lo que son suficientes para que exista conexión estable en todos los usuarios, excepto uno el cual se excede la potencia máxima disponible para los canales de tráfico en downlink. Se registra una conexión que llega a 2.083 Mbps la cual es perfectamente aceptada con lo que se cumple el acceso a internet de mayor velocidad.

Se analizó una segunda simulación como se observa en el mapa 10-3 con una muestra de 26 usuarios accediendo al mismo tiempo y de los cuales 24 pudieron acceder al servicio, incluyendo 11 usuarios de internet de mayor velocidad, 9 de internet básico y 4 de voz; 2 usuarios no pudieron acceder al servicio por valores de  $E_c/I_o$  menores a -14 dB.

En general se registró una disminución de los valores de  $E_c/I_o$  que van desde -12 a -13 dB para los usuarios conectados como se muestra en la tabla 14-3, esto se debe a que la celda registra un

factor de carga mayor y su área de servicio se ve afectada debido a que los usuarios cercanos consumen la potencia emitida del Nodo B ocasionando una falta de cobertura en las zonas con menores niveles de recepción.



**Mapa 10-3:** Simulación con 26 usuarios distribuidos en el polígono poblacional  
**Realizado por:** PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Se pudo constatar que la cantidad de usuarios simultáneos de internet de mayor velocidad se reduce a tan solo 2, esto debido a que la potencia de HSDPA está limitada por el uso de UMTS, pero sin embargo no son rechazados, sino que existe un retraso en el acceso al servicio el cual se ira otorgando paulatinamente después de que se desocupe el uso de otro usuario. El throughput obtenido según la simulación de 26 usuarios es de 10018 kbps en DL y de 4980 kbps en UL los cuales podrían crecer en función del número de usuarios.

Al realizar una simulación con 54 suscriptores por km<sup>2</sup> equivalente al tercer año de crecimiento de usuarios a aproximadamente 537, se pudo observar bloqueos mucho más significativos que van desde un 20% hasta un 33% por lo que sería necesario el aumento de una portadora por cada sector para poder cumplir con la posible demanda. Estos valores serian evaluados de mejor manera de acuerdo a los KPIs que se obtendrían de las estadísticas de uso de un nodo B en los posteriores años después de la implementación.

Tabla 13-3: Resultados de capacidad con 13 usuarios conectados al Nodo B al mismo tiempo

X	Y	Service	Terminal	Activity	Carrier	DL Requested Throughput (kpbs)	UL Requested Throughput (kpbs)	DL Obtained Throughput (kpbs)	UL Obtained Throughput (kpbs)	Mobile Total Power (dbm)	Connection Status	Best Server	Ec/Io (db)
-78,76295512	-1,848099746	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	384	64	-1,4	Connected DL	BS_1	-5,03668
-78,76625030	-1,8712229037	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.687	1.603,4	5	3,4	5		HSDPA Delayed	BS_2	-10,2354
-78,75250779	-1,868137694	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.662	3,4	5	3,4	5	-27,6	Connected UL	BS_1	-4,65964
-78,75891192	-1,876670896	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	384	64	-3,5	Connected DL	BS_2	-9,74682
-78,76166791	-1,857192639	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.662	3,4	5	3,4	5	-24,4	Connected UL	BS_1	-4,66296
-78,76187790	-1,854526023	Voice	Mobile	Inactive	9.662	12,2	12,2	12,2	12,2	-6,3	Inactive	BS_1	-4,82656
-78,77892489	-1,866309182	Voice	Mobile	Inactive	9.687	12,2	12,2	12,2	12,2	4,2	Inactive	BS_2	-10,254
-78,76574176	-1,861275006	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	384	64	-10,8	Connected DL	BS_1	-4,70274
-78,76588527	-1,854323191	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	0	0		Ptch > PtchMax	BS_1	
-78,77316673	-1,879726778	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.687	2.083,4	5	2.083,4	5		Connected DL	BS_2	-9,67118
-78,78365125	-1,873149738	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	384	64	-9,3	Connected DL	BS_2	-9,69107
-78,78062020	-1,875677189	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.687	1.923,4	5	3,4	5		HSDPA Delayed	BS_2	-9,68217
-78,76533051	-1,873876667	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	384	64	-21,8	Connected DL	BS_1	-4,66194

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018

Tabla 14-3: Resultados de capacidad con 26 usuarios conectados al Nodo B al mismo tiempo

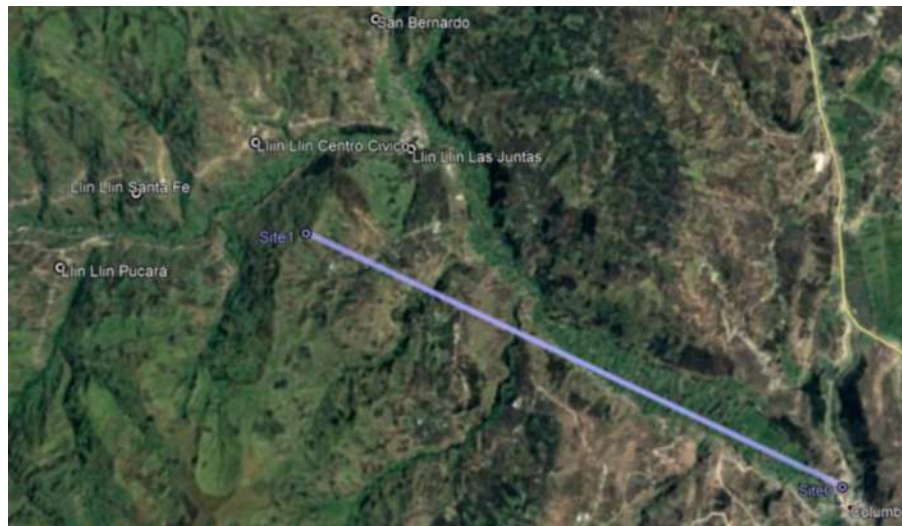
X		-78,75202383	-1,867187847	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.662	1.123,4	5	1.123,4	5	-43,5	Connected DL	BS_1	-12,382
		-78,75649873	-1,866723508	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.687	963,4	5	963,4	5	-11,5	Connected DL	BS_2	-12,8938
		-78,77558505	-1,871485065	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.687	963,4	5	963,4	5	-12,4	HSDPA Delayed	BS_2	-12,8633
		-78,782323989	-1,873627198	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	384	64	-13,8	Connected DL	BS_2	-12,7368
		-78,76203988	-1,854327343	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.662	3,4	1.029	3,4	1.029	5	Connected UL	BS_1	-12,3873
		-78,75912615	-1,856502337	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.662	3,4	1.029	3,4	1.029	12,3	Connected UL	BS_1	-12,411
		-78,75015437	-1,860649368	Voice	Mobile	Active UL	9.662	12,2	0	0	0		Ec/Io < (Ec/Io) min	BS_1	
	Y	-78,75578208	-1,865050142	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.662	3,4	1.029	3,4	1.029	-0,1	Connected UL	BS_1	-12,3836
		-78,77982830	-1,876661581	Voice	Mobile	Active UL	9.687	12,2	12,2	12,2	12,2	-20,4	Connected UL	BS_2	-12,7493
		-78,77151376	-1,87955289	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	384	64	-21,7	Connected DL	BS_2	-12,7498
		-78,7798353	-1,874690973	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.687	1.123,4	5	3,4	5	-23,6	HSDPA Delayed	BS_2	-12,7806
		-78,77172526	-1,868614345	Mobile Internet Access	HSPA	Active UL	9.687	384	64	384	64	-21,8	Connected UL	BS_2	-12,7706
		-78,74939913	-1,87518505	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.662	1.123,4	5	3,4	5	-29,7	HSDPA Delayed	BS_1	-12,3832
		-78,78023947	-1,87835266	Voice	Mobile	Active DL+UL	9.687	12,2	12,2	12,2	12,2	-19,6	Connected DL+UL	BS_2	-12,7721
		-78,76603479	-1,871129317	Voice	Mobile	Active DL+UL	9.662	12,2	12,2	12,2	12,2	17,4	Connected DL+UL	BS_1	-13,2946
		-78,75742249	-1,860929889	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	384	64	-20,6	Connected DL	BS_1	-12,3823
		-78,78328672	-1,8777235542	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.687	3,4	133	3,4	133	-13,7	Connected UL	BS_2	-12,7743
		-78,76088213	-1,853322398	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	384	64	9,8	Connected DL	BS_1	-12,7446
		-78,77430035	-1,864260177	Mobile Internet Access	HSPA	Active UL	9.662	384	64	384	64	11,4	Connected UL	BS_1	-12,4826
		-78,78183517	-1,881193387	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	384	64	-22	Connected DL	BS_2	-12,7739
		-78,77514861	-1,88268552	High Speed Internet	HSPA	Active UL	9.687	3,4	1.029	3,4	1.029	20,7	Connected UL	BS_2	-13,0899
		-78,75326609	-1,851088794	High Speed Internet	HSPA	Active DL	9.662	803,4	5	3,4	5	-1,7	HSDPA Delayed	BS_1	-13,1362
		-78,76052358	-1,85980382	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	384	64	128	Connected DL	BS_2	-13,4022
		-78,76308086	-1,855295978	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.687	384	64	0	0	9,9	Ec/Io < (Ec/Io) min	BS_2	
		-78,74944078	-1,870710202	Voice	Mobile	Active UL	9.662	12,2	12,2	12,2	12,2	-2,3	Connected UL	BS_1	-12,3928
		-78,75907988	-1,871771289	Mobile Internet Access	HSPA	Active DL	9.662	384	64	384	64	-3,6	Connected DL	BS_1	-12,3993

Realizado por: PAGUAY, Mario & VILCACUNDO, Fabricio, 2018



### 3.7 Enlace de Microondas

A continuación, se detalla el diseño del enlace de microondas en base a la capacidad necesaria para la estación base y la frecuencia de operación de 7 GHz, mediante las cuales se describen los equipos que cumplen con los requerimientos y se procede a simular la efectividad del enlace y el porcentaje de confiabilidad del mismo. La ubicación de los puntos de conexión y la topología del radio enlace se detalla en el mapa 11-3.



**Mapa 11-3:** Ubicación del radio enlace  
**Realizado por:**aguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

#### 3.7.1 Capacidad del enlace

El punto de conexión en el AMG de CNT en la posición 1°53'11.76"S, 78°43'24.96"O, dispone de enlaces de alta capacidad por lo que no existe ningún problema en caso de los requerimientos para la tecnología UMTS o HSPA. De acuerdo con la tabla 15-3 la capacidad del Iub requiere en el mejor de los casos alrededor de 18 Mbps cuando se limita el tráfico de UMTS al 63% de la capacidad y un acceso sin límites para HSPA (Stakiak, Wiewior, Zwierzykowski. 2009 p. 7), a pesar de que las simulaciones de capacidad del nodo B indicaban valores no mayores a 11 Mbps se tomara como referencia 18 Mbps en caso de que el tráfico de la estación aumente.

**Tabla 15-3:** Capacidad del IuB de acuerdo con limitaciones

G [%]	Capacity of IuB with limitation	Capacity of IuB without limitation
50	23040	18442
55	20956	18442
57	20212	18442
60	19200	18442
63	18442	18442

Realizado por: Paguay, Mario; Vilcacundo, Fabricio, 2018

Debido a que también se utilizara la tecnología GSM entonces será necesario un porcentaje pequeño más para el enlace, en este caso al tener canales de voz de 22.8 kbps y con 200 usuarios simultáneos como un numero razonable de máximo uso, se tendría un máximo de 4.5 Mbps de ocupación.

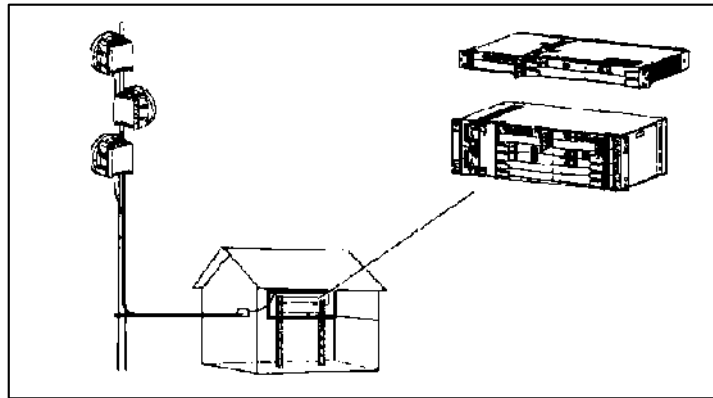
La suma de los requerimientos de 2G y 3G nos da como resultado 22.5 Mbps, pero para un mayor grado de confiabilidad de uso de cada una de las tecnologías se tendrá un enlace de 25 Mbps en Uplink y Downlink a través del canal de transmisión que garantizará la conexión

### **3.7.2 Equipos de microondas**

Existen una gran cantidad de equipos de microondas en el mercado de diferentes marcas y diferentes aplicaciones dependiendo de los requerimientos del enlace, en este caso debido a que se necesitan tan solo 25 Mbps bastaría con equipos de baja capacidad que han sido desarrollados hace ya varios años atrás.

Debido a que ciertos equipos que ofrecen estos niveles de conexión ya han sido discontinuados, a que en un futuro se podría mejorar el servicio con actualizaciones a 4G y a que por motivos de compatibilidad resulta mejor utilizar una sola marca, se procede a elegir la serie RTN 900 de la marca Huawei y específicamente el modelo RTN 905 1A el cual resulta ser el más básico de esta serie.

Los equipos se componen de una parte indoor y otra outdoor, en la parte indoor tenemos la denominada IDU (Indoor Unit) mientras que en la parte interior tenemos la denominada ODU (Outdoor Unit) tal como se puede observar en la Figura 34-3.



**Figura 34-3:** Diagrama de un sistema de microondas  
Fuente: Salmerón, 2010

## IDU

Es la parte interior del sistema de microondas que lo interconecta con la red exterior o con el equipo de telefonía celular, este equipo tiene tanto interfaces Ethernet como E1 con lo que se garantiza la transmisión por paquetes efectuada por 3G y la transmisión por TDM efectuada por GSM. Tiene además las características que se detallan en la tabla 16-3 en la cual se puede resaltar que lo que la diferencia del otro modelo es que posee un solo canal RF. (Huawei, 2012, p. 4)

**Tabla 16-3:** IDU Huawei RTN 905

Item	Description	
Type	IDU 905 1A	IDU 905 2 <sup>a</sup>
Chassis height	IU	
Pluggable board	Not supported	
Service interface	4 x GE electronic interface 2 x GE/FE optical interface or GE electrical interface (SPF) 16 x E1 interface 2 x TDM cascading interface	
Radio type	Integrated IP radio (Native E1 + Ethernet)	
Highest modulation	1024 QAM	
Number of IF/RF channels	1	2
RF configuration mode	1-0 non-protection	2x (1+0) non-protection 2+0 non-protection 1+1 HSB/FD/SD protection XPIC configuration

Fuente: Huawei, 2012

## ODU

Es la parte exterior del sistema de microondas y corresponde al sistema radiante conformado por el equipo de radiofrecuencia y la antena parabólica. La RTN 905 soporta dos clases de ODUs, XMC-1 y XMC-2 las cuales se describen en la tabla 17-3; debido a que no se requiere de una gran capacidad para el throughput que se necesita transmitir resultaría suficiente con el modelo XMC-1, sin embargo, debido a futuras proyecciones se opta por el modelo XMC-2. (Huawei, 2012, p. 5)

**Tabla 17-3:** ODU Huawei RTN 905 1A

Ítem	Description	
	High-Power ODU	Low Capacity ODU
ODU type	XMC-2	XMC-1
Frequency band	6/7/8/11/13/15/18/23/26/28/32/38/42 GHz	7/8/11/13/15/18/23 GHz
Microwave modulation scheme	QPSK/16QAM/32QAM/64QAM/128QAM/256QAM/512QAM/1024QAM (6/11/13/15/18/23/28/32/42 GHz) QPSK/16QAM/32QAM/64QAM/128QAM/256QAM (7/8 GHz)	QPSK/16QAM
Channel spacing	7/14/28/50/56 MHz	3.5/7/14/28 MHz

Fuente: Huawei, 2012

La conexión entre el Nodo B y la RNC necesita una velocidad mínima de transmisión de 25 Mbps, con este valor se procede a determinar que modulación y canalización son las más adecuadas para la transmisión, teniendo en cuenta que las modulaciones más bajas son menos susceptibles a afecciones por factores meteorológicos, pero ofrecen velocidades de transmisión más bajas

**Tabla 18-3:** IDU Huawei RTN 905

Channel Spacing (MHz)	Modulation Scheme	Maximum Number of EIs in Hybrid Microwave	Native Ethernet Throughput (Mbit/s)			
			Without Compression	With L2 Frame Header Compression	With L2+L3 Frame Header Compression (IPv4)	With L2+L3 Frame Header Compression (IPv6)
7	QPSK Strong	4	8 to 10	8 to 13	8 to 20	8 to 26
7	QPSK	5	10 to 13	10 to 16	10 to 25	10 to 33
7	16QAM Strong	8	17 to 22	17 to 26	17 to 41	18 to 55
7	16QAM	10	20 to 26	20 to 32	21 to 49	21 to 66
7	32QAM	12	25 to 32	25 to 39	26 to 61	26 to 81
7	64QAM	15	32 to 49	32 to 50	33 to 77	33 to 102
7	128QAM	18	37 to 48	38 to 58	38 to 90	39 to 120
7	256QAM	20	42 to 53	42 to 65	43 to 101	44 to 135
14 (13.75)	QPSK Strong	8	17 to 22	17 to 27	17 to 41	18 to 55
14 (13.75)	QPSK	10	21 to 26	21 to 32	21 to 50	21 to 66
14 (13.75)	16QAM Strong	16	35 to 45	35 to 55	36 to 84	36 to 113
14 (13.75)	16QAM	20	41 to 53	42 to 64	42 to 99	43 to 133
14 (13.75)	32QAM	24	52 to 66	52 to 80	53 to 124	54 to 166
14 (13.75)	64QAM	31	65 to 83	66 to 101	67 to 156	68 to 208
14 (13.75)	128QAM	37	77 to 98	78 to 120	79 to 185	80 to 247
14 (13.75)	256QAM	42	88 to 112	89 to 137	90 to 211	92 to 282

Fuente: Huawei, 2012, p 56



Al necesitar una velocidad de 25 Mbps de acuerdo con la tabla 18-3 de especificaciones existen dos opciones:

- 25 Mbps con modulación 32 QAM y un ancho de banda de 7 MHz.
- 25 Mbps con modulación QPSK y un ancho de banda de 14 MHz.

La primera opción tiene el beneficio de un ancho de banda más reducido de 7 MHz, pero con una modulación de mayor orden y más susceptible, la segunda opción permite usar una modulación QPSK la cual es más resistente a afectaciones climáticas, pero con un ancho de banda mayor. Debido a que el enlace se desarrolla en una zona rural los cambios climáticos pueden ser muy comunes por lo que se procede a utilizar la segunda opción debido a que ofrece mayor robustez y a que no es estrictamente necesario alcanzar altas velocidades de transmisión.

En cuanto a la potencia de transmisión en las bandas de 7 y 8 GHz con la modulación QPSK según la tabla 19-3 se llega a un máximo de 26.5 dBm (Huawei, 2012, p. 86), este valor será puesto a prueba en la respectiva simulación y se podrá comprobar si es suficiente para llegar a niveles estables de sensibilidad de recepción en ambos sentidos.

**Tabla 19-3:** Características de potencia de Tx RTN 905 1A

Item	Performance							
	QPSK	16QAM	32QAM	64QAM	128QAM	256QAM	512QAM	1024QAM
@7 GHz	26.5	25.5	25.5	25	25	23	-	-
@8 GHz	26.5	25.5	25.5	25	25	23	-	-
@11 GHz	26	24/25	24/25	22/24	22/24	20/23	22	20
@13 GHz	25	22/24	22/24	20.5/23	20.5/23	27.5/21	20	18
@15 GHz	25	22/24	22/24	20.5/23	20.5/23	28.5/22	21	19
@18 GHz	24	21/23	21/23	19.5/22	19.5/22	16.5/20	19	17
@23 GHz	24	21/23	21/23	19.5/22	19.5/22	17.5/21	20	18
@26 GHz	22	20/21	20/21	18/20	18/20	16/18	17	15
@28 GHz	25	22	22	19	19	17	15	13
@32 GHz	22.3	21	19.5	17	17	15	13	11
@38 GHz	20	17/18	17/18	16/17	16/17	14/16	15	13
@42 GHz	16	12/14	12/14	11/13	11/13	19/11	10	8

Fuente: Huawei, 2012

En el AMG la IDU RTN 905 1A debe estar conectada hacia el resto de la red para establecer conexión con la RNC, esto se realiza mediante patch cord UTP categoría 5E entre un puerto Ethernet del Switch de transmisión y la IDU. Mientras en la estación base se conectará de igual manera mediante patch cord UTP entre la IDU y la BBU 3900.

La IDU se conecta a la ODU por medio de cable coaxial RG8, la cual estará en una parte exterior cercana a la antena para que no existan mayores pérdidas por alimentación del Feeder; la conexión es la misma tanto en el AMG como en el Nodo B.

### 3.7.3 Antena de microondas

La antena apropiada para este proyecto es de tipo parabólica y debe acoplarse a la ODU, según las especificaciones de la ODU XMC-2 existen dos formas de interconectarla con la antena:

- Conexión directa con una antena de diámetro pequeño
- Conexión separada con una antena de diámetro grande

Para este escenario es necesario una antena en la banda de 7 GHz y de un diámetro pequeño debido a que puede acoplarse perfectamente a la ODU, entonces una antena diseñada por el mismo fabricante será la mejor opción. La interfaz de conexión hacia la antena de la ODU es denominada como 153IEC-R84 que pertenece a un tipo de guía de onda.

De esta manera la elección se inclina por el modelo A07D06HAC (Figura 35-3) la cual tiene un diámetro de 0.6 metros, está diseñada para conexiones directas debido a que coincide con el tipo de interfaz 133IEC-R84. (Huawei, 2017)



**Figura 35-3:** Antena Huawei A07D06HAC  
Fuente: Huawei

Esta antena tiene las siguientes características

- Frecuencia entre 7.125 y 8.5 GHz
- Diámetro de 0.6 m.

- Polarización Doble
- Interfaz de entrada 153IEC-R84
- Ganancia en banda baja 29.2 dB
- Elevación  $\pm 15^\circ$
- Azimut  $\pm 360^\circ$
- Beamwidth  $4.7^\circ$

### 3.7.4 Canalización

Al analizar el equipo RTN 905A se pudo determinar que se necesita un ancho de banda de 14 MHz para para velocidad de transmisión requerida, para esto se necesita establecer los canales de transmisión y recepción. La recomendación del ITU denominada F.385-10 se denomina “Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijo que funcionan en la banda 7110-7900 MHz”, y en el anexo 1 de este documento se detalla la disposición de radio canales para las bandas 7125-7235 y 7425-7725. (ITU-R, 2012)

Para determinar la frecuencia específica del canal de Tx/Rx y Rx/Tx necesitamos el ancho de banda que en este caso es 14 MHz, entonces se utiliza la siguiente fórmula para establecer la canalización:

mitad inferior de banda:  $f_n = f_o - 154 + 14n$

mitad superior de banda:  $f'_n = f_o + 14n$

donde:

$f_o$ : frecuencia del centro de la banda ocupada (Mhz)

$f_n$ : frecuencia central de un radiocanal en la mitad inferior de la banda

$f'_n$ : frecuencia central de un radiocanal en la mitad superior de la banda

n: número de radio canal (1, 2, ..., 10)

Se utilizará la banda de 7425-7725 debido a que la especificación del equipo RTN 905 1A funciona para esta banda. La frecuencia central de esta banda es  $f_o = 7575 \text{ Mhz}$  y como numero de canal se puede escoger cualquiera, en este caso será  $n=5$ .

$$f_n = 7575 - 154 + 14(5) = 7491 \text{ Mhz}$$

$$f'_n = 7575 + 14(5) = 7645 \text{ Mhz}$$

Estos valores representan la frecuencia central de los canales tanto de ida como de retorno y con un ancho de banda de 14 MHz.

### 3.7.5 *Simulación*

La herramienta de simulación de software cuenta con diferentes tecnologías entre las cuales también se encuentran los enlaces de microondas. Cuenta con diversos parámetros y configuraciones incluidas. En el módulo Microwave Link podemos encontrar diferentes modelos de equipos de microondas sin embargo el modelo escogido tendrá que ser configurado de acuerdo con los parámetros de las secciones 3.7.2, 3.7.3 y 3.7.4 ya que no se encuentra en esta base de datos.

Inicialmente se procede a importar un mapa topográfico que entregue datos de altitud a través del terreno por donde se efectúa el enlace de microondas, se pueden importar diferentes tipos de archivos dependiendo de lo que se necesite y en este caso se utiliza el tipo de mapa topográfico .GEO de la zona de estudio en cuestión y se define la zona correspondiente del sistema de coordenadas UTM en este caso 17S

Para definir los emplazamientos es necesario especificar las coordenadas en el sistema UTM de cada uno los cuales quedan definidos de la siguiente manera:

- AMG Columbe: 748693, 9792568
- Nodo B: 753236, 9791307

Con los datos de ubicación exactos se crea el enlace y se procede a determinar las respectivas configuraciones en cada sitio.

#### **Antena**

El modelo de antena es el A07D06HAC de la marca Huawei, sin embargo, no se pudo encontrar este modelo en el software de simulación por lo que ser necesario añadir las características principales para modelar este tipo de antena. Las características que se añaden son la ganancia en la banda de 7 GHz, el diámetro de la antena y las pérdidas por Cross-Polarización y demás, los cuales se encuentran detallados en el Anexo O.

Debido a que ya están establecidas las ubicaciones, el azimuth aparece automáticamente con 285.54° para el Nodo B y 105.54 para el AMG. El tilt dependerá de la altura de la antena en cada emplazamiento; para la antena situada en el AMG se tiene no más de 3 metros debido a que existe

solamente un soporte de esa altura, mientras que en el Nodo B se tiene la posibilidad de elevar más debido a la torre para las antenas de telefonía celular.

Debido a que se dispone de una gran altura en la torre y a que la antena puede variar su ángulo de elevación hasta 15° no existen restricciones para el nivel de ubicación de la antena en el Nodo B. Sin embargo, para evitar el excesivo peso en la parte superior de la torre se procede a ubicarla a una altura de 10 metros, lo cual también facilita labores de mantenimiento. Los parámetros definidos en el software de simulación se detallan en la figura 36-3.

Site0		Site1	
<input checked="" type="checkbox"/> A >> B			<input checked="" type="checkbox"/> A << B
Antennas			
Model:	<input type="text" value="..."/>	<Same as Opposite Site>	<input type="text" value="..."/>
Height/ground:	3 m	Polarisation:	Horizontal
Azimuth:	285,54 °	Misalignment (az.):	0 °
Tilt:	4,98 °	Misalignment (tilt):	0 °
<input checked="" type="checkbox"/> Use a radome	Losses:	<input checked="" type="checkbox"/> Use a radome	Losses:
	0 dB		0 dB

**Figura 36-3:** Características de la antena en el software de simulación

**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

## Equipo de Microondas

EL modelo RTN 905 no se encuentra registrado en el software de simulación por lo que es necesario definir las principales características.

Primero se define la banda de frecuencia que es 7 GHz, el tipo de modulación a utilizar que es QPSK, el ancho de banda del canal que fue determinado en 14 MHz y la capacidad del enlace de 25 Mbps Híbrido con dos E1s. La potencia de transmisión es 26,5 dBm de acuerdo con los valores de la tabla 19-3 de especificaciones en la banda de 14 MHz con QPSK, lo cual también se define en los parámetros del transmisor. Estos parámetros se detallan en la figura 37-3.

También se especifica que se utiliza un enlace 1+0 es decir con una sola ODU, debido a que los enlaces 1+1 FD, HSB o XPIC incluyen el uso de 2 ODUs y requiere más costos de implementación. Finalmente se establece los canales de ida y retorno a utilizar los cuales fueron ya establecidos con anterioridad en 7491 MHz y 7645 MHz correspondientes al canal 5 de la banda de 7425 a 7725 con espaciamiento de 14 MHz.



<b>Propagation</b>		
	<i>A &gt;&gt; B</i>	<i>B &gt;&gt; A</i>
Received signal level in clear air	-63,3 dBm	-63,56 dBm
Total losses	147,56 dB	147,82 dB
Free space losses	123,39 dB	123,57 dB
Dry air losses	0,02 dB	0,02 dB
Water vapour losses	0,01 dB	0,01 dB
Diffraction losses	24,14 dB	24,23 dB
Antenna losses	0 dB	0 dB
Line of sight	Trans-horizon	Trans-horizon

**Figura 38-3:** Pérdidas totales de transmisión

Realizado por: Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

Los resultados de la simulación detallados en la figura 39-3 nos muestran un enlace con 100% de disponibilidad en un año promedio y además un margen de 30 dB por lo que el enlace está garantizado tanto de ida como de retorno, además los tiempos de duración de fallas son mínimos en cuanto a porcentaje anual por lo que se cumplen con los objetivos de calidad y disponibilidad en presencia de diversos factores climáticos.

<b>Link Budget</b>		
	<i>A &gt;&gt; B (1e-006) Plain</i>	<i>B &gt;&gt; A (1e-006) Plain</i>
Thermal fade margin	30,7 dB	30,44 dB
Quality for the worst month	100 %	100 %
Availability for an average year	> 99.999 %	> 99.999 %
Non-quality for the worst month (Objective)	0 sec (7 min 0 sec)	0 sec (7 min 0 sec)
Unavailability for an average year (Objective)	< 5 min 15 sec (1 h 26 min 43 sec)	< 5 min 15 sec (1 h 26 min 43 sec)
Frequency band	7 GHz	
Length	4.731 m	
<b>Unavailability due to Rain</b>		
	<i>A &gt;&gt; B (1e-006) Plain</i>	<i>B &gt;&gt; A (1e-006) Plain</i>
Non-outage rate for the worst month	100 %	100 %
Outage duration for the worst month (Objective)	0 sec (7 min 13 sec)	0 sec (7 min 13 sec)
Non-outage rate for an average year	100 %	100 %
Outage duration for an average year	0 sec	0 sec
Performance Objectives		
SESr (Objective)	0e+000 (1,65e-004)	0e+000 (1,65e-004)

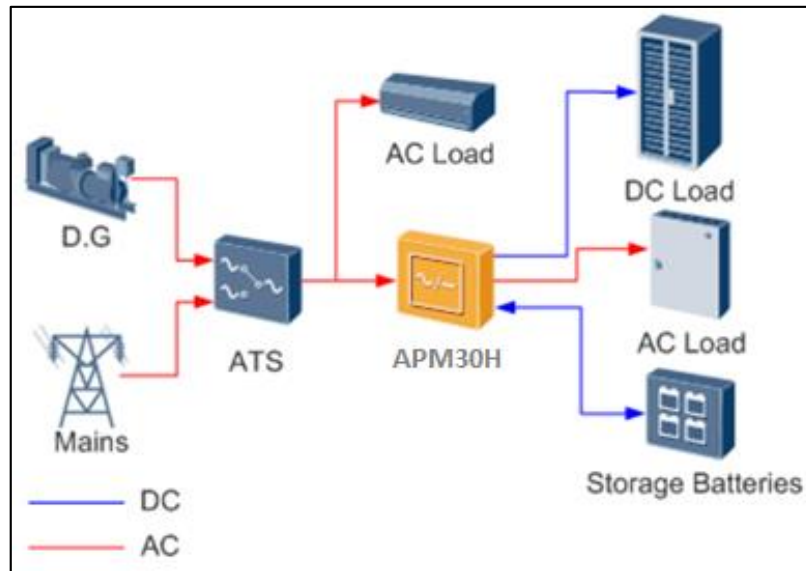
**Figura 39-3:** Confiabilidad del radio enlace

Realizado por: Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

### 3.8 Equipos de potencia.

Entre los requerimientos de energía para la puesta en marcha de la estación base, principalmente se requiere de conexión AC desde la red pública de tendido eléctrico, que por normas externas a las operadoras de telefonía en algunos casos deben de poseer un transformador de media a baja tensión; así también se deben incluir rectificadores que serán los encargados de proporcionar energía DC para el funcionamiento de RRUs, BBU y demás elementos.

En el caso de que los suministros de energía eléctrica AC tuvieran un fallo, la estación base debe contar con medios de energización alternativos, por tal motivo es indispensable la instalación de bloques de baterías que alimentaran a la estación base generalmente por el lapso de algunas horas. La representación de la conexión típica de los equipos de energía en la red celular se presenta en la Figura 40-3.



**Figura 40-3:** Conexión típica de los equipos de energía en la red.  
Fuente: (Huawei Technologies, 2017)

### 3.8.1 *Cuadro eléctrico*

La energía eléctrica llega en primera instancia al cuadro eléctrico mediante una acometida con la red principal de la empresa eléctrica, ya sea que en esa instancia se utilice o no un transformador de tensión, eso dependerá del tipo de energía que se disponga de la fuente más cercana.

En algunos casos el cuadro eléctrico también puede ser alimentado por un grupo electrógeno, principalmente esto ocurre en zonas muy aisladas de la población en las que el acceso a la red de energía es inexistente. La zona donde se ubica la estación base tiene acceso directo a la energía y además se encuentra en una zona rural semi poblada por lo que su aislamiento no es de consideración y no es estrictamente necesario un grupo electrógeno.

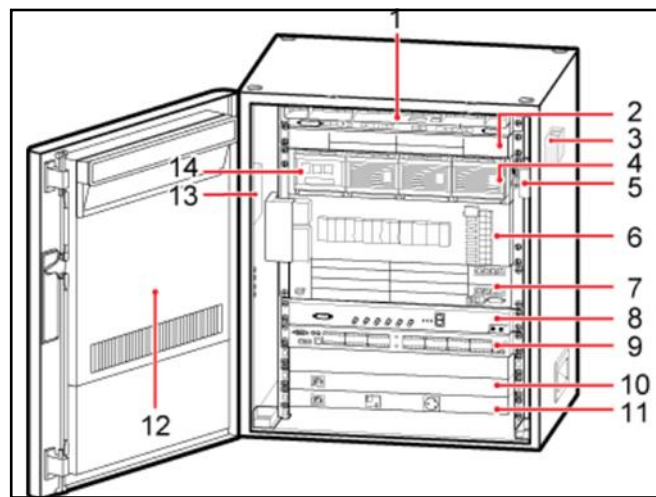
En el cuadro eléctrico se ubican los disyuntores de todos los equipos que son alimentados con energía eléctrica AC.



### 3.8.2 Gabinete Rectificador APM30H

Este gabinete de Huawei está diseñado específicamente para estaciones bases distribuidas como es el caso de la DBS3900, de igual manera ofrece 5 unidades de espacio para demás equipos de monitorización, heater AC y SOU; la principal ventaja del APM30H es la incorporación de fábrica del sistema de potencia y rectificación que varía de acuerdo con diferentes modelos, pero cumplen con la misma función.

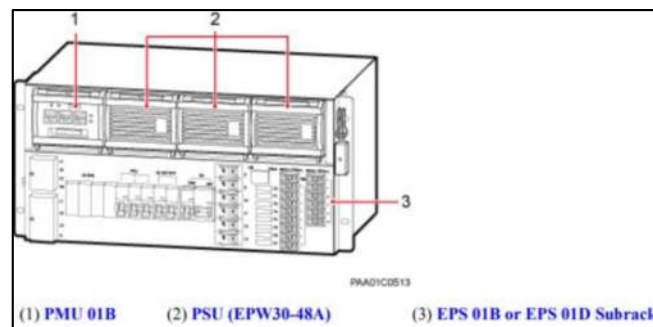
Este sistema se encarga de recibir la energía eléctrica AC y mediante rectificadores convertirla a DC, de este modo distribuye tanta energía AC, y DC principalmente a los equipos BBU, RRU, y demás; los elementos de los que se compone el gabinete se muestran en la Figura 41-3.



**Figura 41-3:** Componentes de un APM30H (Ver. B)

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

La presente sección se enfoca en los elementos de potencia (4,6,14) que conforman la EPS (Energy Plant System), que se muestra en la Figura 42-3.

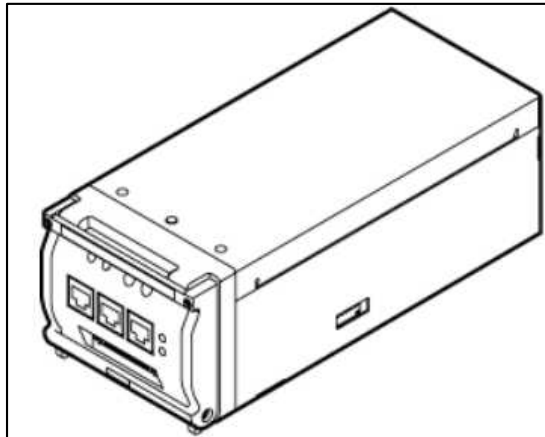


**Figura 42-3:** Componentes del EPS 01D

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

La EPS que se analiza será el modelo 01D, puesto a que se encuentra en la mayoría de las arquitecturas Huawei en varias estaciones base de la operadora CNT EP; esta consta de 3 componentes principales.

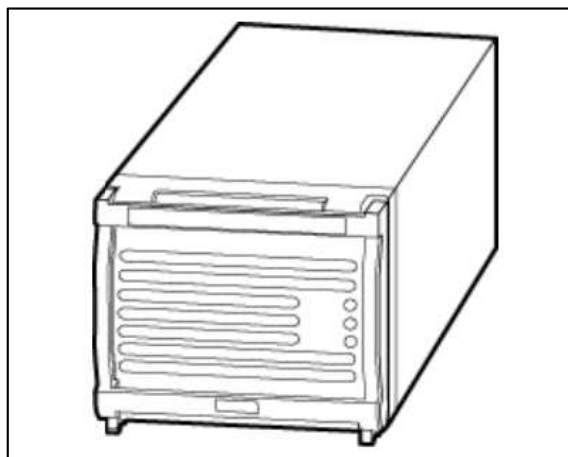
*PMU 01B*.- es la unidad de monitorización de energía que se encarga de gestionar el sistema de alimentación y las baterías, además supervisa la distribución de energía e informa de las alarmas que se generan en la estación, en la Figura 43-3 se presenta la PMU 01B.



**Figura 43-3:** Exterior de la PMU 01B

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

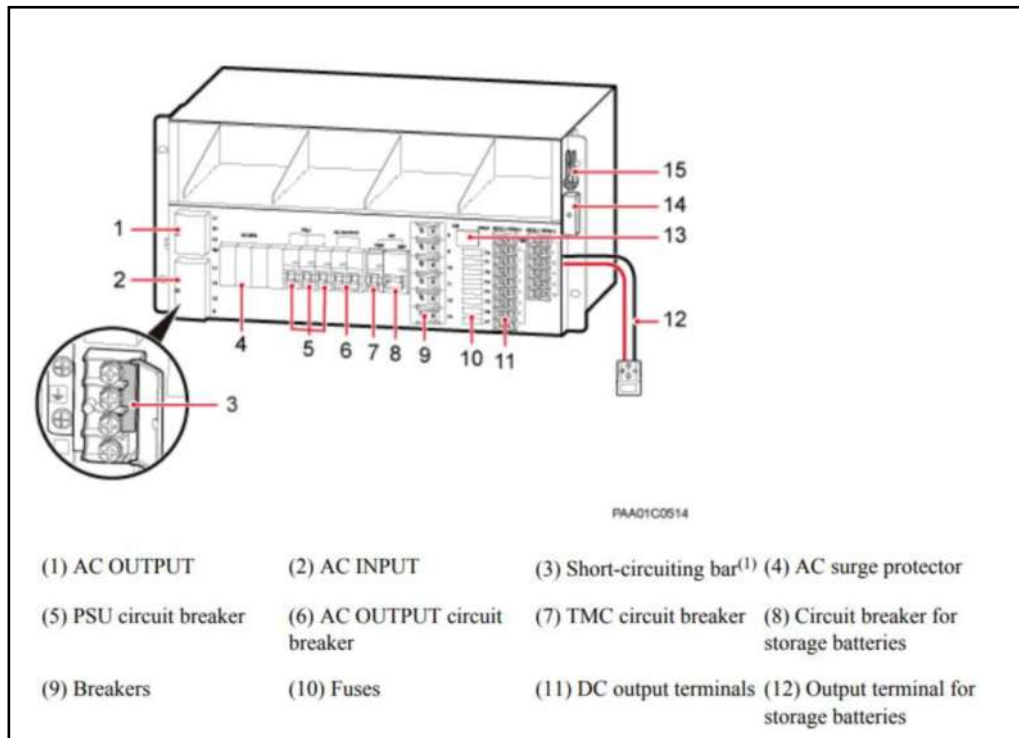
*PSU (EPW30-48A)*.- esta fuente de alimentación también conocida como rectificador es la encargada de convertir la energía AC de 110VAC o 220VAC a -48VDC, y así distribuir a los equipos que trabajen bajo este voltaje; también supervisa e informa las alarmas que tengan relación con la protección y fallas en el módulo, principalmente reporta voltajes elevados, falla en la salida de voltaje, averías en el ventilador, bajos voltajes en las entradas, temperatura elevada, e incluso si el módulo no se encuentra en posición, en la Figura 44-3 se presenta la PSU.



**Figura 44-3:** Exterior de la PSU (EPW30-48A)

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

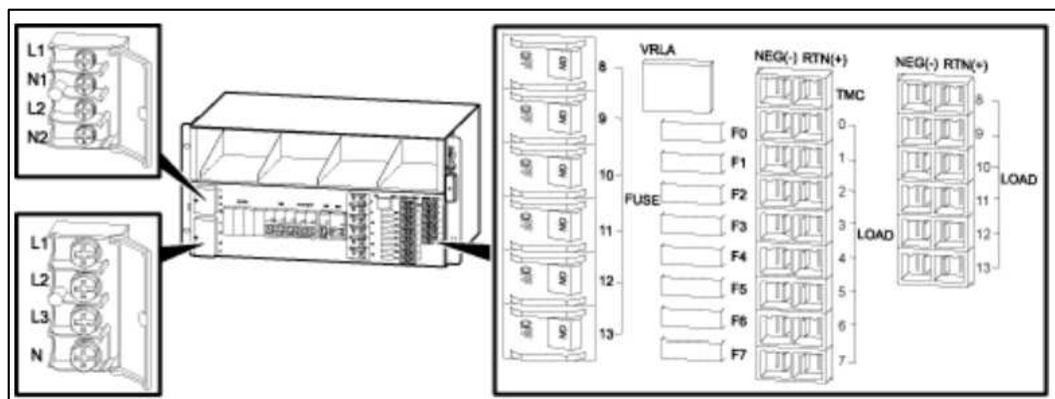
*EPS 01D 01B Subrack.* - Este subrack proporciona ranuras para conectar y energizar los equipos, el modelo 01B es el indicado al momento de utilizar 220 VAC en la entrada, este elemento soporta como máximo 3 PSUs y una sola PMU.



**Figura 45-3:** Exterior de la EPS 01B y sus componentes.

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

Es necesario tener en cuenta los puertos de entrada y salida de energía tanto AC y DC, en la figura 46-3 se muestra dichos terminales.



**Figura 46-3:** Terminales de entrada y salida en la EPS 01D

**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

La EPS requiere de una entrada AC y dispone de solo una salida AC, por otro lado, dispone de 14 puertos “LOAD” que son usados para la conexión de la BBU, RRUs, FAN del gabinete, IBBS, y TM, que son alimentados con -48VDC, cada puerto LOAD dispone de su fusible

correspondiente. Para estas conexiones existe una distribución ya predeterminada que se presenta en la Tabla 20 y debe ser respetada en la implementación debido a que los breakers de cada conector están diseñados de acuerdo con el amperaje máximo soportado que se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 20:** Terminales de salida en EPS 01B

DC Output Terminal	DC Power Supply Unit	Protector	Protector Specification	Connector
LOAD 8 -13	RRU	Breaker	6x20 A	Toll-less female connector (pressfit type)
TMC	TMC		1x25 A	
LOAD 0	FAN	Fuse	1x15 A	
LOAD 1 and 2	BBU		2x15 A	
LOAD3	IBBS		1x15 A	
LOAD 4-7	TM		4x15 A	
-	BAT	Breaker	1x100 A	Power series 120 connector

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

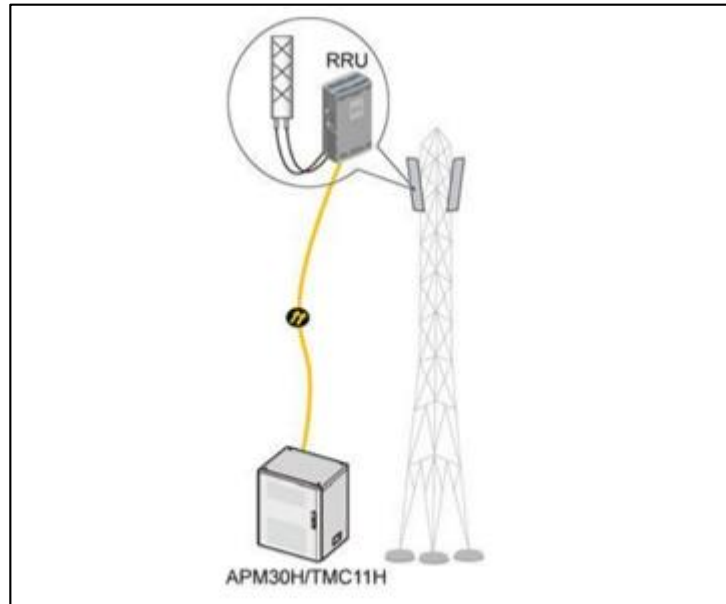
**Tabla 21:** Capacidad de Circuit Breakers

Circuit Breaker	Silkscreen	Requirement for the Circuit Breaker
PSU circuit breakers (EPS 01B)	PSU	3x16 A
PSU circuit breaker (EPS 01D)	PSU	1x40 A
AC output circuit breaker	AC OUTPUT	1x16 A
Circuit breaker for storage batteries	BAT	1x100 A
TMC circuit breaker	TMC	1x25 A

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

### 3.8.2.1 Esquema de la conexión del gabinete APM30H

En la Figura 47-3 se muestra el escenario de instalación del gabinete APM30H que puede ser utilizado de manera outdoor.



**Figura 47-3:** Escenario de instalación outdoor del gabinete APM30H.  
**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014)

### 3.8.3 Gabinete para Baterías IBBS200D

La fuente de alimentación de la estación base en caso de que la energía principal se detenga es generada por bancos de baterías recargables, normalmente se utilizan 8 baterías para mantener operativos a los equipos al menos por una hora, hasta reestablecer la fuente principal.


Las baterías se ubican en el sistema de batería de respaldo integrado en un gabinete Huawei IBBS200D que está diseñado para contener 8 baterías de 12v 100Ah (ver Figura 48), y se conecta directamente con el APM30H. Al ser equipos outdoor permiten la implementación de la estación base sin necesidad de una infraestructura compleja.



**Figura 48-3:** Estructura interna del IBBS2000D.  
Fuente: (Huawei Technologies, 2014)

### 3.8.3.1 Baterías

Las baterías recomendadas provienen de la empresa YUBSB modelo FCT12-100 y sus especificaciones físicas se detallan en la Figura 49-3:

Model No.	Capacity	L (mm)	W (mm)	H (mm)	Total H (mm)	Weight (kg)	QTY(pcs)	Picture
FCT12-100	100/10HR	507	110	223	223	29.4	8	

**Figura 49-3:** Especificaciones de batería marca YUBSB, 12v-100Ah  
Fuente: (YUBSB, 2018)

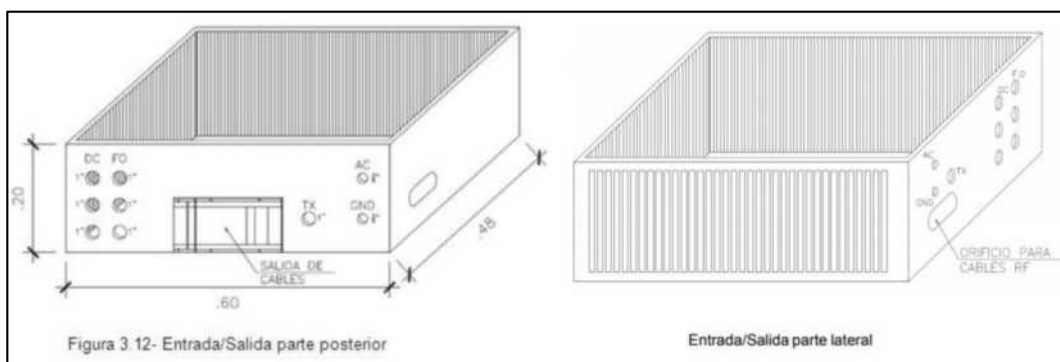
Al ser 8 baterías de 12 voltios 100 Ah se distribuyen cuatro de ellas en serie y las restantes cuatro en paralelo por lo que el amperaje total que se entrega a los equipos de 100 Ah en cada rama por lo que da un total de 200 Ah.



**Figura 50-3:** Batería marca YUBSB, 12v-100Ah  
Fuente: (YUBSB, 2018)

### 3.8.3.2 Bastidor Base

Todos los cables que salen e ingresan a los gabinetes APMT30H e IBBS200D deben pasar por un bastidor que a su vez hace las funciones de base en la estructura final, esta base posee varias aberturas diseñadas para los cables de radiofrecuencia, cables de fibra óptica, de corriente alterna y corriente continua para las baterías, en la Figura 51-3 se observa el bastidor a usar con sus puertos.



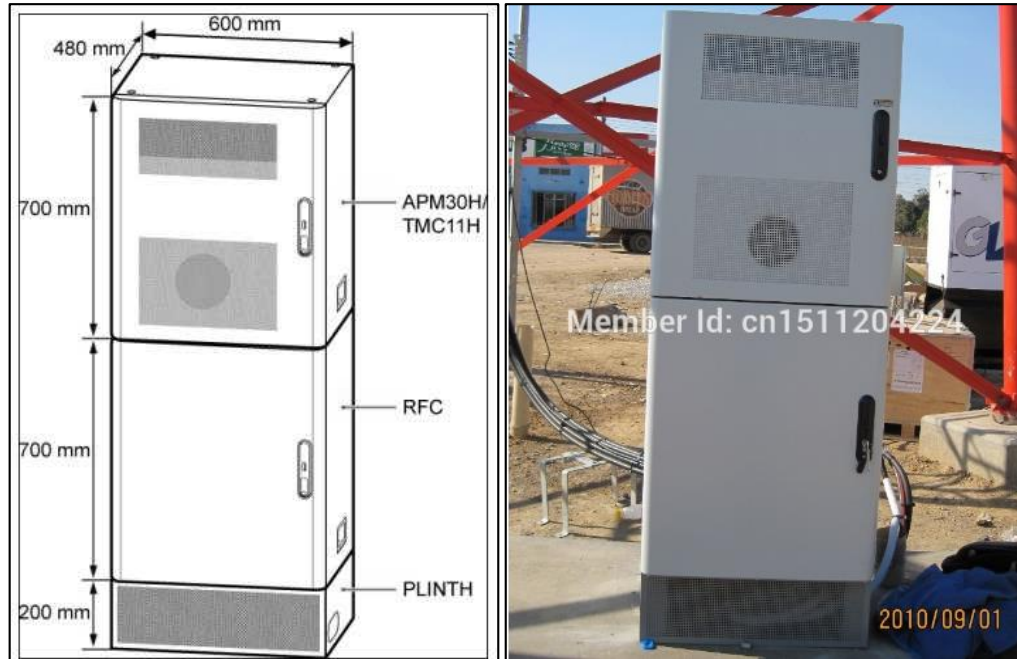
**Figura 51-3:** Bastidor Base

Fuente: (Huawei Technologies, 2014)

El bastidor debe ser instalado y sujetado sobre una base de concreto que se deberá implementar como superficie regular correctamente nivelada.

### 3.8.3.3 Esquema de implementación de los gabinetes

Los gabinetes de equipos al ser outdoor se los puede ubicar al pie de la torre, sin necesidad de protección alguna como se puede observar en la Figura 52-3



**Figura 52-3:** APM30H, ISSB200D y bastidor base  
**Fuente:** (Huawei Technologies, 2014; Alibaba, 2018)

## 3.9 Dimensionado de carga eléctrica

La estación base cuenta con el módulo de energía el que se encarga de alimentar a la BBU, las dos RRUs, el FAN, el equipo de microondas y las baterías. Cada uno de estos elementos requiere de un determinado consumo de potencia promedio en condiciones normales pero que pueden llegar a alcanzar niveles de uso más elevados en determinado momento y que deben estar dentro de los niveles de consumo de energía aceptados por el módulo de energía del gabinete AMP30H.

De acuerdo con las especificaciones del gabinete AMP30H y su módulo de potencia denominado EPS01D tiene la capacidad de brindar un máximo 10000 W de potencia para los equipos que estén conectados, dado este valor será necesario comprobar que la suma de los consumos de cada elemento no supere este valor para evitar sobrecarga y daños. (Huawei Technologies Co., 2017)

Según las especificaciones de la DBS3900, la configuración para 1900 MHz con el uso de GSM y UMTS ofrece varios modos de configuración para la BBU y las RRUs respectiva. Para el proyecto actual solo se utilizarán 2 RRUs por lo que el modo de configuración modelo seria GSM



S2/2/2 + UMTS 3x1 que es propicio para tres sectores, pero nos brinda una referencia del consumo de energía que utiliza la DBS3900. (Huawei Technologies Co., 2015)

**Tabla 22-3:** Consumo de potencia DBS3900 Ver. D

Mode	Configuration	Output Power per Carrier (W)	Typical Power Consumption (W)	Maximum Power Consumption (W)
GSM	S2/2/2	20	645	750
	S4/4/4	20	790	1115
	S6/6/6	20	1140	1685
UMTS	3x1	20	570	655
	3x2	20	690	830
LTE	3x10Mhz	2x20	780	930
GSM+UMTS	GSM S2/2/2 + UMTS 3x1	GSM: 20 UMTS: 20	860	1045
	GSM S3/3/3 + UMTS 3x1	GSM: 20 UMTS: 20	1075	1365
	GSM S4/4/4 + UMTS 3x1	GSM: 20 UMTS: 20	1135	1525
GSM+LTE	GSM S2/2/2 + LTE 3x10 MHz	GSM: 20 LTE: 2x20	1080	1335

Fuente: Huawei, 2015

Mediante la tabla 22-3 se tiene un máximo consumo de 1045 W a esto habría que añadirle el consumo de la IDU que mediante sus especificaciones nos da un consumo máximo de 100 W en el modo de protección 1+1, también se toma en cuenta el módulo FAN, y la potencia al cargar las baterías. El consumo de la luminaria, la baliza de la torre y la cámara de seguridad que se detallaran más adelante en la sección 3.4 también será tomado en cuenta para determinar el consumo total de la estación base.

**Tabla 23-3:** Consumo máximo de potencia del nodo B

<b>Modelo</b>	<b>Max. Potencia Consumida (W)</b>
DBS 3900 (Incluido RRUs)	1045
RTN 905	61
BALIZA	6
CARGA DE BATERÍAS	360
FAN	192
LUMINARIA LED	60
CAMARA	6.4
TOTAL	1730

**Realizado por:** Paguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

El consumo de la estación base detallado en la tabla 23-3, el máximo de su capacidad sería de 1730 W por lo que se acomoda perfectamente al módulo de energía EPS01D, además el consumo es relativamente parecido en comparación al consumo máximo de una vivienda promedio por lo que a priori el uso de un transformador para alimentar la estación base no es estrictamente necesario.

### **3.10 Obra Civil**

#### **3.10.1 Torre**

Teniendo en cuenta el perfil de elevación obtenido en la simulación del radioenlace AMG\_CNT-NodoB\_LlinLlin, los resultados sugieren una altura mínima de 10 metros para la torre, asegurando así que la primera zona de Fresnel del enlace tenga un porcentaje menor a 40% de obstrucción. De acuerdo con el modelo de propagación utilizado para las simulaciones de cobertura de telefonía celular la altura adecuada es de 30 metros, además es la más común para este tipo de servicios por lo que se dispone a hacer uso de esta.

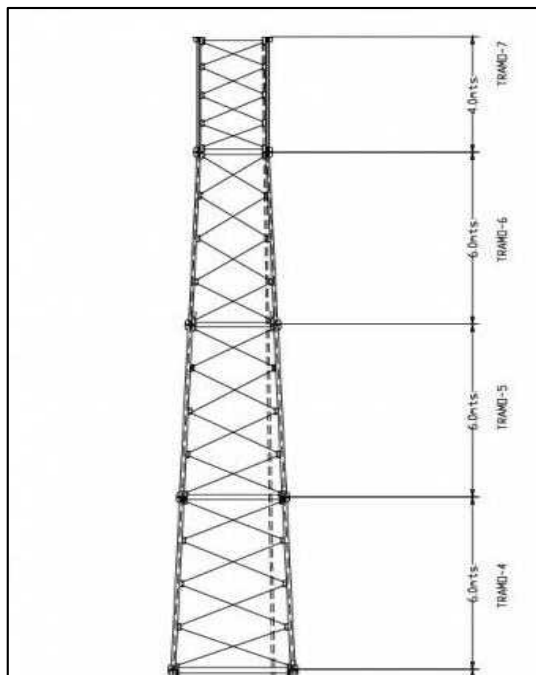
De acuerdo con la memoria técnica de Entel (2017 pp. 3-24) y analizando nuestro caso de estudio, se resume una descripción de los elementos de una torre auto soportada:

- Estructura portante principal (sección tronco piramidal y/o constante).

La estructura principal debe ser de tipo auto soportada ya que el terreno para la estación base es reducido y resultaría más complicado utilizar tensores pues esto demandaría una mayor cantidad de espacio. Al ser auto soportada su estructura debe ser piramidal la cual tiene un tramo triangular y un tramo recto el cual puede ser desde el 10% de la altura de la torre piramidal hasta un máximo de 6 metros.

Los tramos para una torre son por lo general de 5 metros por lo que requeriría 4 tramos para alcanzar a los 30 metros de altura deseados para la torre de los cuales los cinco tramos inferiores serían del tipo de sección triangular, mientras que el tramo superior sería de sección constante.

La base de la torre se va ensanchando a partir de la primera sección piramidal y la dimensión final no debe exceder los 3.5 metros por lado en la parte inferior, la forma de la torre se detalla en la figura 53-3.



**Figura 53-3:** Ilustración de una torre triangular  
Fuente: Zenarq, 2015

- Escalera de ascenso y descenso de personas.

Esta escalera tendrá un ancho de 40 centímetros y el espacio entre ejes peldaños será de un máximo de 30 centímetros y a lo largo de toda la torre, a la escalera se le añade también una línea de vida vertical para garantizar la seguridad de los trabajadores que realicen ascensos y descensos a través de la escalera. La escalera se ubica en el interior de la torre y no deben existir obstáculos que impidan la libre circulación

- Plataforma a tope y media.

En el tope de la torre serán necesarios secciones simétricas tipo rejilla para establecer una plataforma alrededor de la torre en donde también se añadirán los soportes respectivos de 3 metros para las antenas sectoriales separadas debidamente de la plataforma para poder regular valores de azimut. Dichas plataformas deben contar con barandas a los lados para brindar protección y además que en el centro de exista un espacio para la zona de la escalera y así permitir el acceso para personas.

Se añade también el uso de una plataforma pequeña para la respectiva instalación y mantenimiento de la ODU y la antena que forman parte del radio enlace.

- Sistema de pararrayos.

El sistema de pararrayos es muy necesario para evitar daños a los equipos, este está formado por 3 partes:

- Captador: Recibe toda la energía en descargas eléctricas, en este caso se utilizará un captador tipo Franklin como se muestra en la figura 54-3 el captador también deberá contar con un aislador cerámico el mismo que se une con el soporte mediante un adaptador.
- Soporte: Debe tener una altura de 6 metros o más y sostiene al captador en lo más alto, se ubica en el centro de plataforma
- Cable bajante de pararrayos: El cable desnudo AWG 1/0 y se conectara directamente al captador y bajara por la torre con aisladores tipo carrete cada cierta altura para garantizar que no exista contacto con la estructura de la torre. Al final se conecta con soldadura a la malla perimetral para puesta a tierra.



**Figura 54-3:** Ilustración de un captador tipo Franklin

**Fuente:** Zenarq, 2015

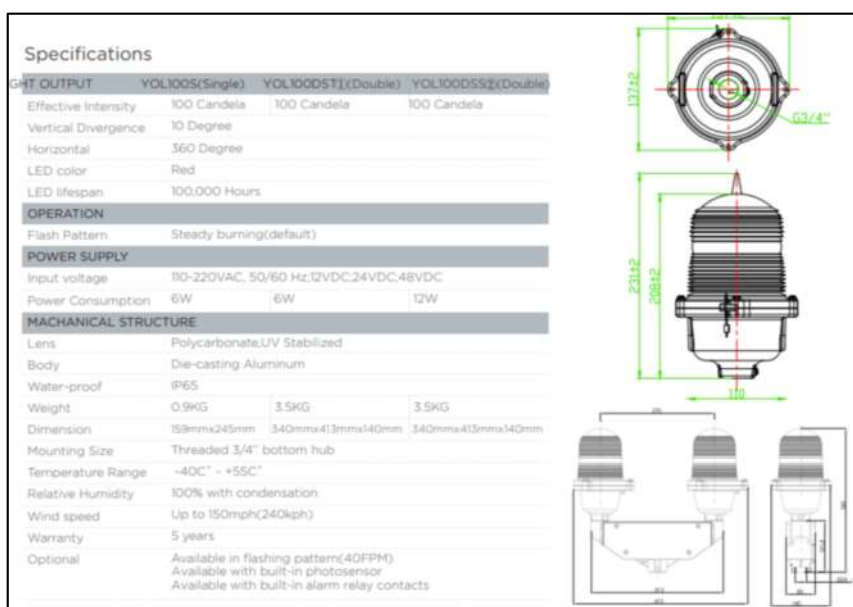
- Sistema de protección de antenas.

Cada una de las antenas necesita conexión a tierra para evitar daños por lo que se necesita un cable con recubrimiento tipo AWG 1/0 a lo largo de la torre acoplado a dos barras ubicadas en la parte inferior y a cada nivel de antenas, debe tener perforaciones para facilitar la conexión de cada una de las antenas en cuestión.

- Sistema de Balizamiento (diurno y nocturno).

El balizamiento diurno consiste es pintar la estructura por franjas alternadas cada 5 metros entre los colores blanco y anaranjado, esta pintura deberá ser resistente al agua

El balizamiento nocturno consiste en la ubicación de una luz roja tipo bombillo led de 6 W con características fotométricas para evitar consumos en el día, esta baliza se ubica en la parte superior de la estructura con un soporte y su cableado de alimentación pasa a través de las escalerillas porta cables. Debido a los requerimientos de energía la baliza preferentemente debe tener adaptación ya sea a -48 VDC o 110-220 VAC por lo que una baliza Yuan Sheng YOL100 es el modelo más adecuado y cuyas especificaciones se detallan en la figura 55-3.



**Figura 55-3:** Especificaciones Baliza Yuan Sheng YOL100

Fuente: Yuan Sheng, 2014

- Soportes de antenas celulares (Dos soportes).

Los soportes serán caños de 2.5 metros y separado mínimo 20 cm de la estructura para regular azimut y elevación, además deberán soportar el peso de la antena, la RRU (máximo 100 kg) y el de una persona que tenga que realizar es mantenimiento

- Soportes de antena de enlace (Un soporte).

El soporte será un caño de 2 metros y separado mínimo 50 cm de la estructura para regular azimut y elevación, además deberán soportar el peso de la antena (máximo 200 kg) y el de una persona que tenga que realizar mantenimiento.

### **3.10.2 Construcción**

De acuerdo con la memoria técnica de Salmerón (2010, pp. 71-79) y el análisis del emplazamiento de este estudio, se describe la obra civil en lo que concierne a adecuación del terreno, cimentaciones, cerramiento, seguridad, iluminación, etc. La distribución del terreno se encuentra en las figuras 56-3 y 57-3.

#### **Terreno**

El terreno donde se ubica la estación base necesita ser acondicionado para que pueda ser utilizado para realizar cimentaciones y para el cerramiento respectivo, este terreno tendrá una dimensión 8m por 6 m lo cuales serán suficientes para establecer la torre y el gabinete de equipos para transmisiones.

Es necesario realizar una nivelación y explanación mediante una excavación de tierras de cualquier dureza o textura, mediante el estudio de cambo del emplazamiento de pudo observar que el terreno es bastante plano por lo que no demandaría de la realización de trabajos demasiado extensos.

#### **Bancada y Cimentación**

Es necesaria una bancada de hormigón para los gabinetes que ocupan los equipos de telecomunicaciones y energía, esta tendrá las dimensiones de 2 x 1 metros, esta bancada tendrá un espesor de 20 cm de altura y completamente nivelado

Para la torre de 20 metros de altura se construye una cimentación de hormigón mediante zapata de dimensiones 4 x 4 x 4 m, de forma triangular la misma que va armada con una malla corrugada electrosoldada para evitar retracciones y también para que funcione como malla de puesta a tierra para protección de descargas.

Para el resto del terreno se rellena con grava en su totalidad para evitar que exista exceso de polvo en climas secos que puedan invadir los equipos terrenos o exceso de lodazales en climas lluviosos que pudiesen dificultar el acceso al realizar mantenimientos o reparaciones.

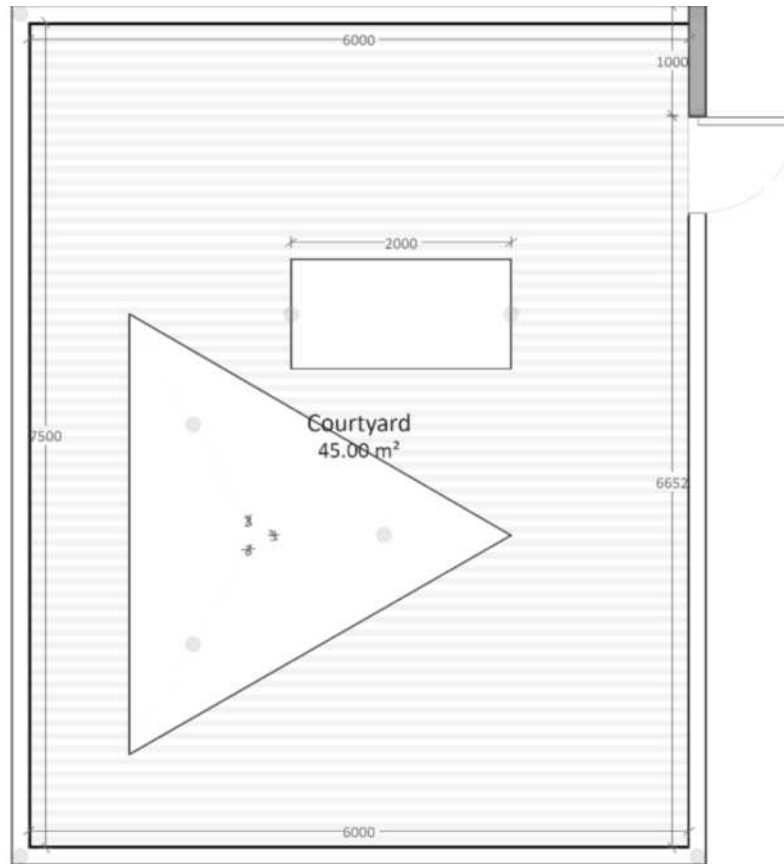
## **Cerramiento**

La estación base necesita de un cerramiento que la rodee y que proteja los equipos de agentes externos como intrusiones de personas o incluso de animales ya que se trata de una zona rural, al tratarse de una zona poco poblada la probabilidad de que personas intenten entrar al sitio o que puedan efectuar algún daño es menor por lo que resulta factible proteger la zona mediante un cerramiento con malla eslabonada

La altura del cerramiento debe tener una altura de 2.4 metros de los cuales 2.2 m. corresponden a malla eslabonada, esta debe tener alambre galvanizado N° 12 y aberturas de 0.05 m por 0.05m. Esta malla debe quedar lo suficientemente templada por lo que se debe utilizar postes como máximo cada 3 metros además de los postes principales ubicados en las esquinas de la estación base.

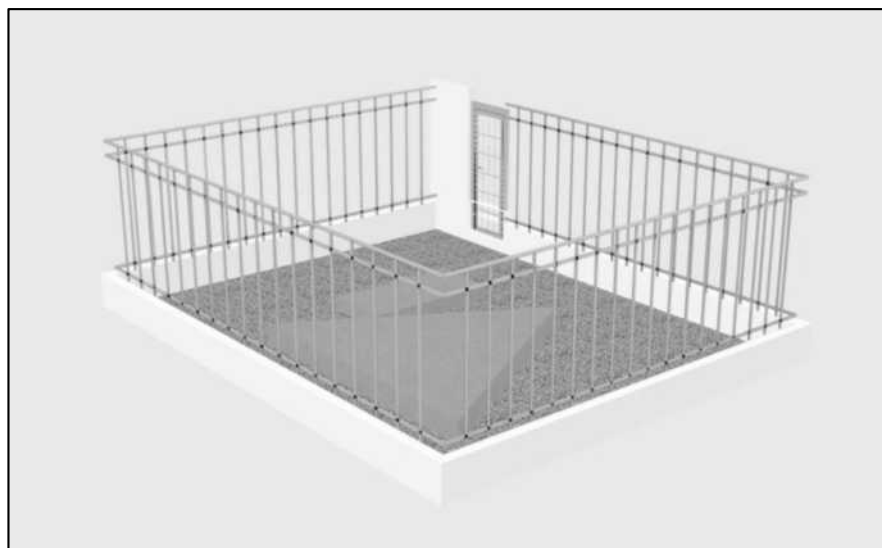
En la parte inferior del cerramiento se dispone de un zócalo perimetral construido a base de bloques con una altura de 20 cm sobre el suelo nivelado y una profundidad de 20 cm donde se cimentarán los postes para la colocación de la malla, este zócalo además deberá ser pintado para brindar una mejor apariencia. En la parte superior de las mallas se ubicarán 3 cuerdas de alambre de púas de dos hilos retorcidos de acero galvanizado con púas de 4 puntas

Se instala una puerta de acceso al interior de 1.25 x 2 m con apertura hacia el exterior con traviesas situadas a 40 cm de la base en donde se rellenará con chapa de 3 mm de espesor y la otra parte será con alambre galvanizado igual al del cerramiento, además se instalarán tres bisagras a diferente altura; además se dotará de un cerrojo donde se ubicará un candado para el cierre del emplazamiento.



**Figura 56-3:** Plano de la obra civil  
**Realizado por:**aguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018

Cerca de la puerta de acceso al emplazamiento se construye una pared de bloque hasta la altura de las mallas y con un ancho de un metro debido a que es necesario instalar una cámara de seguridad empotrada en la pared y el tubo PVC de acometida eléctrica conectada al medidor de consumo de energía eléctrica.



**Figura 57-3:** Dibujo tridimensional de la obra civil  
**Realizado por:**aguay Mario, Vilcacundo Fabricio, 2018



### **Caseta para equipos**

Para el alojamiento de los equipos para el funcionamiento de la estación base es necesario una caseta tipo rack de modelo APM30H Ver. B, este modelo aloja los equipos de telefonía celular como la BBU y además también es útil para la IDU del sistema de transmisión por radio enlace. Para las baterías se requiere un modelo IBBS200D, estos modelos se especifican en la descripción de equipos de telefonía celular y energía.

### **Seguridad**

Se requiere visibilidad del sitio para establecer vigilancia las 24 horas en caso de alguna intrusión o daño exterior e interior que se pudiera presentar, para esto es necesaria la instalación de una cámara IP empotrada en la parte superior de la pared que se encuentra al lado de la puerta de acceso al emplazamiento.

La cámara ira conectada a los equipos de transmisión por cable UTP 5E y alimentada al sistema de energía por cable de alimentación AWG 12, estos cables pasaran a través de una manguera corrugada para protección.

Se sugiere también la implementación de un sensor con alarma para registrar movimientos dentro de la estación y brindar una alerta de una posible intrusión tanto para la empresa como para los pobladores que viven en la cercanía

### **Iluminación**

Debido a que se trata de una estación de telefonía celular que no dispone de un techo entonces no existe la posibilidad de usar focos convencionales para alumbrar el emplazamiento, como alternativa se utiliza una luminaria tipo LED para exteriores resistente al agua con interruptor para poder iluminar el área en caso de que sea necesario realizar alguna reparación en horas nocturnas en la zona terrenal de la estación.

Para la correcta ubicación de la luminaria será necesario un soporte que se adhiera a la estructura metálica de la torre, así como un cable de alimentación para 110 o 220 v hasta la zona de alimentación en el gabinete de distribución eléctrica.

### **Obra Eléctrica**

Se instalará una caja de revisión con 2 breakers uno de un polo y un segundo de dos polos para poder distribuir la energía eléctrica que llega desde la acometida trifásica hacia los equipos de energía, transmisión, iluminación y seguridad.

### 3.11 Propuesta económica

#### 3.11.1 Costos de implementación

Para detallar los costos que generaría el proyecto se tuvo en cuenta los siguientes puntos:

- Los precios adjuntos de equipos y accesorios fueron obtenidos de diferentes páginas de proveedores internacionales y se les añade un porcentaje mayor debido a aranceles de importación.
- Los precios referenciales de equipos y accesorios nacionales fueron consultados a diferentes proveedores.
- La obra civil fue presupuestada de acuerdo con el criterio de un profesional especializado en el tema.
- El costo de la torre es un precio referencial obtenido de una cotización en el extranjero por lo que se añade un porcentaje adicional de costos.

a) Equipos Importados (+ 30% del valor en país de origen)

**Tabla 24-3:** Valor de equipos de importación

Descripción	Valor por unidad	Valor al importar	Cantidad	Total
Gabinete APM30H	USD \$ 1300	USD \$ 1690	1	USD \$ 1690
Gabinete IBBS200D	USD \$ 350	USD \$ 455	1	USD \$ 455
BBU3900 incluido GTMUb, FAN, y UPEUd	USD \$ 2500	USD \$ 3250	1	USD \$ 3250
UBBPd6	USD \$ 395	USD \$ 513,5	1	USD \$ 513,5
UMPT b2	USD \$ 325	USD \$ 422,5	1	USD \$ 422,5
RRU 3953	USD \$ 800	USD \$ 1040	2	USD \$ 2080
CABLE CPRI 30m	USD \$ 28	USD \$ 36,4	2	USD \$ 72,8
CABLE RF JUMPER DIN ½ 3m	USD \$ 7	USD \$ 9,1	2	USD \$ 18,2
ANTENA KATHREIN 742265	USD \$ 120	USD \$ 156	2	USD \$ 312
BATERIA 12V 100Ah	USD \$ 108	USD \$ 140,4	8	USD \$ 1123,2
RTN 905	USD \$ 2769	USD \$ 3599,7	2	USD \$ 7199,4
ANTENA A07D06HAC	USD \$ 825	USD \$ 1072,5	2	USD \$ 2145
CABLE RG-8U (15 m)	USD \$ 40	USD \$ 52	2	USD \$ 104
			TOTAL	USD \$ 19385,60

**Realizado por:** PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

b) Equipos no importados

**Tabla 25-3:** Valor de equipos no importados

Descripción	Valor por unidad	Cantidad	Total
MANGUERA BX SELLADA PVC 1" /m	USD \$ 4,14	100	USD \$ 414
BALIZA	USD \$ 200	1	USD \$ 200
LUMINARIA LED	USD \$ 80	1	USD \$ 80
CAMARA IP	USD \$ 35	1	USD \$ 35
SENSOR DE MOVIMIENTO CON ALARMA	USD \$ 102	1	USD \$ 102
CABLE UTP CAT 5E (m)	USD \$ 0.50	20	USD \$ 10
		TOTAL	USD \$ 841

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

**Tabla 26-3:** Valor de componentes eléctricos

Descripción	Valor por unidad	Cantidad	Total
CABLE AWG 2x12 (m)	USD \$ 9	60	USD \$ 54
CABLE AWG 1/0 RECUBRIMIENTO (m)	USD \$ 9.11	45	USD \$ 409.96
CABLE AWG 1/0 SIN RECUBRIMIENTO (m)	USD \$ 7.68	40	USD \$ 307.2
CABLE DE ACOMETIDA #6 (m)	USD \$ 3	20	USD \$ 60
BARRA DE COBRE PARA PUESTA A TIERRA	USD \$ 26	1	USD \$ 26
CAJA DE REVISION ELECTRICA	USD \$ 25	1	USD \$ 25
BREAKER 1 POLOS 20 AMP	USD \$ 9	1	USD \$ 9
BREAKER 2 POLOS 20 AMP	USD \$ 11	1	USD \$ 11
		TOTAL	902.16

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

c) Obra Civil

**Tabla 27-3:** Valor de adecuación de la estación base

Descripción	Valor por unidad	Cantidad	Total
Terreno (m2)	USD \$ 20	48	USD \$ 960
Nivelación (m3)	USD \$ 9	10	USD \$ 90
Excavación para cerramiento (m3)	USD \$ 119.49	1.088	USD \$ 130
Relleno de ripio en áreas expuestas (m3)	USD \$ 11.83	3.8	USD \$ 45
Cimentación cerramiento (m)	USD \$ 9.19	27.2	USD \$ 250
Mampostería cerramiento (m)	USD \$ 7.35	27.2	USD \$ 200
Enlucido cerramiento (m2)	USD \$ 24.50	16.32	USD \$ 400
Malla de alambre (m2)	USD \$ 18.40	61.6	USD \$ 1134
Cadena de mampostería	USD \$ 250	1	USD \$ 250
Puntos	USD \$ 570	1	USD \$ 570
Puerta	USD \$ 120	1	USD \$ 120
Bancada (m2)	USD \$ 55	2	USD \$ 110
Cimentación para torre	USD \$ 1500	1	USD \$ 1500
Torre de celosía	USD \$ 11600	1	USD \$ 11600
		TOTAL	USD \$ 17359

**Realizado por:** PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

El valor total aproximado de la inversión es USD \$ 38487.76

### 3.11.2 *Análisis Financiero*

De acuerdo con los resultados de la encuesta realizada en la zona, los habitantes proporcionaron información valiosa acerca del tipo de modalidad de pago y un presupuesto mensual que destinarían a la telefonía móvil.

En el Grafico 7-3 se muestra el porcentaje de encuestados que escogió cada una de las opciones, se destaca que el 50% tiene como respuesta que invertiría de 0 a 5 dólares siendo la opción con más acogida. En base a estos resultados se determina un valor promedio de inversión mensual por habitante que se suscriba al servicio.

$$P = \sum_{i=1}^N \bar{v}_i * p_i$$

$P$  = Promedio

$\bar{v}_i$  = Valor medio del intervalo de precios de la clase  $i$

$p_i$  = Porcentaje de la clase  $i$

Al tener 6 clases de resultados los valores en la ecuación se definen de la siguiente manera:

$$P = (2.5)(0.5) + (7.5)(0.22) + (12.5)(0.08) + (17.5)(0.1) + (22.5)(0.06) + (25)(0.04)$$

El promedio de inversión mensual de los usuarios es:

$$P = 8$$

### Segmentación de mercado

Se conoce según el PDyOT del GADP de Columbe que la población de las comunidades de interés en el año 2015 es de 2169, sin embargo, el mercado potencial será tomado en cuenta de las edades de entre 15 y 64 años. Según la tabla 28-3 extraída del PDyOT del GADP de Columbe se tiene un total de 1314 habitantes para este rango de edad que representa el 60% de la población.

**Tabla 28-3:** Población comprendida entre 15 y 64 años de la zona de cobertura inicial

	15 a 29		30 a 49		50 a 64		
COMUNIDAD	H	M	H	M	H	M	Total
Llinllin	223	197	154	172	66	81	893
San Guisel Alto	11	17	24	21	13	19	105
San Guisel Centro	17	18	25	27	22	24	133
San Bernardo	25	26	42	38	24	28	183
							1314

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

En el grafico 41-3 se tiene que la cobertura resultante del Nodo B llega a otras comunidades que no se tenía previstas, las cuales según el mapa de la parroquia Columbe (Anexo N) son:

- San Rafael Bajo
- Santa Ana
- Miraflores Cochapamba

- Miraflores Quishuar Pamba
- Columbe Grande San José
- Gulag

Según el PDyOT de Columbe, San Rafael Bajo y Columbe grande San José ya poseen el servicio de telefonía celular a pesar de que también podrían hacer uso del nuevo nodo B por mejores niveles de cobertura, las demás comunidades no poseen el servicio y suman una población de 432 habitantes (GADP Columbe, 2015), entonces se consideran como clientes potenciales los habitantes comprendidos entre las edades de 15 y 64 años.

**Tabla 29-3:** Población comprendida entre 15 y 64 años de la zona de cobertura adicional.

COMUNIDAD	15 a 29		30 a 49		50 a 64		Total
	H	M	H	M	H	M	
Santa Ana	4	4	3	4	2	3	20
Cocha Pamba	36	38	27	29	14	15	159
Quishuar Pamba	12	14	13	14	3	4	60
Gulag	5	7	5	16	5	4	42
							281

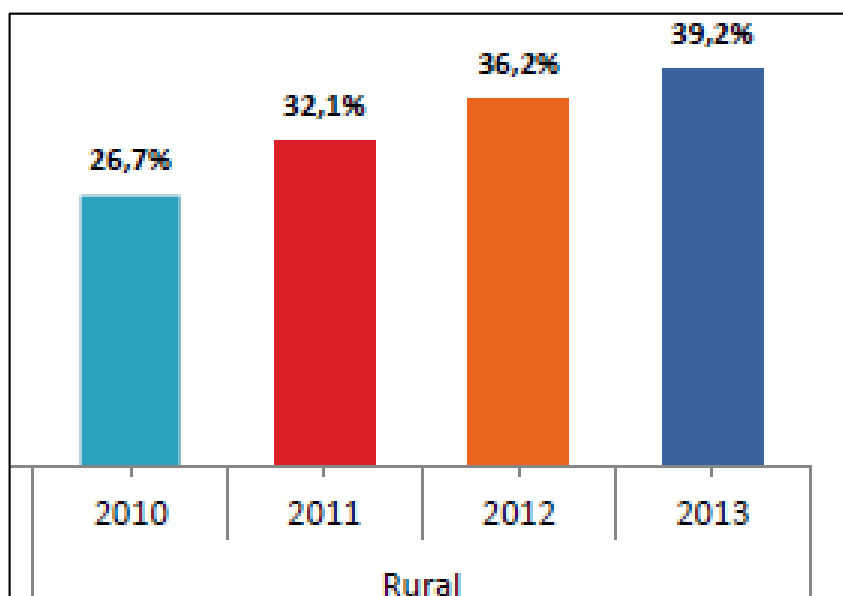
Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

Se determina en la tabla 29-3 que 281 habitantes comprenden el rango de edad antes mencionado y en este caso representan el 65% de la población de estas comunidades.

La cantidad de habitantes de la zona total de cobertura es 2601 de los cuales se tiene un total de 1595 entre 15 y 64 años. Estos valores al ser sometidos a proyección poblacional de un 0.55% para la parroquia Columbe según el INEC (2010), en 2018 llegan a 2644 de habitantes y 1621 en el rango de edad especificado.

De acuerdo con las encuestas realizadas a este grupo de edad en el sitio el 48% de ellos ya disponen de teléfono celular, pero utilizan el servicio solamente cuando se encuentran fuera de la zona o simplemente como un dispositivo multimedia, este grupo de personas representan 778 personas el 29% de la población total.

De acuerdo con el grafico 8-3 para el año 2010 en el sector rural se tiene un porcentaje de 26.7% de personas mantienen un celular activo, este porcentaje ha aumentado un 13% para el año 2013 y de acuerdo con la proyección se puede prever que este porcentaje haya llegado para el año 2018 por lo menos al 45%.



**Gráfico 8-3:** Porcentaje de personas con un celular activo en zona rural  
Fuente: INEC, 2013

Si se toma el porcentaje de 45% de adquisición de líneas celulares de en zonas rurales se tiene un total de 1190 habitantes que serían clientes potenciales, lo cual se encuentra dentro de los 1621 habitantes que componen el rango de edad apropiado.

Se presume que la gran mayoría de los que poseen un teléfono celular adquirirá el servicio de la operadora que brinde la cobertura y lo ira haciendo gradualmente, en caso de ya ser cliente de la operadora la presencia del servicio en la zona incentivará a que se realice una inversión mensual mayor. Al existir una sola operadora que brinde servicio en la zona no habrá competidores que resten un porcentaje de participación en el mercado para los clientes potenciales de la zona.

### Indicadores

Para el presupuesto de ingresos detallado en la tabla 30-3 se toma una adquisición del 15% de la demanda para el primer año y un porcentaje de crecimiento del 15% para los siguientes años con un gasto promedio de 8 dólares mensuales.

**Tabla 30-3:** Proyecciones anuales de clientes potenciales

Año	Clientes	Venta Mensual	Ventas Anuales
1	179	\$1.432,00	\$17.184,00
2	358	\$2.864,00	\$34.368,00
3	537	\$4.296,00	\$51.552,00
4	716	\$5.728,00	\$68.736,00
5	895	\$7.160,00	\$85.920,00

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

Debido a que es un servicio que no demanda materiales ni mano de obra, para costos de producción se toma en cuenta únicamente costos generales de producción y específicamente el gasto mensual de energía eléctrica.

Según el análisis del consumo de energía se tiene 1.7 kW como valor máximo, teniendo en cuenta que es un nodo B que se mantiene operativa todo el tiempo genera 1.7 KW/h como unidad básica de medida. El consumo mensual aproximado será el resultado de multiplicar esta unidad por 24 horas y por 30 días, dando como resultado 1224 kWh.

El precio por kWh especificado en los pliegos tarifarios emitidos por el ARCONEL para la categoría baja tensión comercial sin demanda es de 0.092 al que además se le añaden cargos por comercialización, e incrementales. (Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, 2018) El costo anual aproximado del servicio de energía eléctrica se detalla en la tabla 31-3.

**Tabla 31-3:** Consumo estimado de energía eléctrica

Cuenta	Consumo estimado	Costo por consumo	Cargos adicionales	Valor Mensual	Valor Anual
Serv. Básico (Electricidad)	1224	112,61	15	127,61	1.531,30

**Realizado por:** PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

Como gastos de venta se puede añadir el uso de publicidad en la zona para fomentar la adquisición de líneas celulares y además mostrar las promociones y planes que ofrece la operadora móvil. Se estima un gasto mensual de 50 dólares mensuales en la producción y difusión de posters publicitarios en la zona.

Debido a que la operadora es una empresa ya constituida, las reparaciones e inspecciones no entrarían en costos adicionales pues ya existe personal que realiza este trabajo, el gasto en materiales por reparaciones no se podría estimar exactamente por lo que no se tomara en cuenta.



- **Estado de Resultados**

De acuerdo con los ingresos y egresos obtenidos y un incremento de impuestos del 12% del IVA y 15% del ICE, el estado de resultados queda definido en la tabla 32-3 de la siguiente manera.

**Tabla 32-3:** Estado de Resultados

	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Ingresos</b>					
Servicios Ganados	\$17.184,00	\$34.368,00	\$51.552,00	\$68.736,00	\$85.920,00
<b>(-) Costo Producción</b>					
C.G.P.	\$1.531,30	\$1.531,30	\$1.531,30	\$1.531,30	\$1.531,30
Total Costo Producción	\$1.531,30	\$1.531,30	\$1.531,30	\$1.531,30	\$1.531,30
<b>(=) Ingresos Operacionales</b>	\$15.652,70	\$32.836,70	\$50.020,70	\$67.204,70	\$84.388,70
<b>(=) Utilidad Bruta</b>	\$15.652,70	\$32.836,70	\$50.020,70	\$67.204,70	\$84.388,70
<b>(-) Gasto</b>					
Gastos de Venta	\$600,00	\$600,00	\$600,00	\$600,00	\$600,00
Total Gastos	\$600,00	\$600,00	\$600,00	\$600,00	\$600,00
<b>(=) Utilidad antes de impuestos</b>	\$15.052,70	\$32.236,70	\$49.420,70	\$66.604,70	\$83.788,70
<b>(-)23% Impuestos</b>	\$3.462,12	\$7.414,44	\$11.366,76	\$15.319,08	\$19.271,40
<b>(=) Utilidad Neta</b>	\$11.590,58	\$24.822,26	\$38.053,94	\$51.285,62	\$64.517,30

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

Las utilidades que se presentan en la tabla 32-3 están basadas de acuerdo al valor mensual que los usuarios de la zona invertirían en el servicio. Los valores de costos y gastos corresponden a los que se generan directamente del funcionamiento del nodo B.

- **Flujo Neto de Efectivo**

El Flujo Neto de Efectivo queda definido en la tabla 33-3 de la siguiente manera.

**Tabla 33-3:** Flujo Neto de Efectivo

	2.018,00	2.019,00	2.020,00	2.021,00	2.022,00
<b>Ingresos</b>					
Servicios Ganados	17.184,00	34.368,00	51.552,00	68.736,00	85.920,00
Caja		11.590,58	36.412,84	74.466,79	125.752,41
Total Ingresos	17.184,00	45.958,58	87.964,84	143.202,79	211.672,41
<b>Egresos</b>					
C.G.P.	1.531,30	1.531,30	1.531,30	1.531,30	1.531,30
Total Costo Producción	1.531,30	1.531,30	1.531,30	1.531,30	1.531,30
Gasto					
Gastos de Venta	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Total Gastos	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
23% Impuestos	3.462,12	7.414,44	11.366,76	15.319,08	19.271,40
Total Egresos	5.593,42	9.545,74	13.498,06	17.450,38	21.402,70
<b>(=) F.N.E.</b>	11.590,58	36.412,84	74.466,79	125.752,41	190.269,71

Realizado por: PAGUAY Mario & VILCACUNDO Fabricio, 2018

- **Tasa mínima de rendimiento**

Se toma una tasa de rendimiento de 0.2

$$i^+ = 0.2$$

- **Valor Actual Neto**

El valor anual neto indica el valor de ganancia ante el valor de inversión y el índice de rentabilidad, de acuerdo con el presupuesto el monto de inversión es 38487,76 por lo que el VAN es equivalente a:

$$VAN(+) = -I_o + \sum_{j=1}^n \frac{FNE_j}{(1+i^+)^j}$$

$I_o$  = Inversión

$n$  = Numero de años

$j$  = Numero de año correspondiente

$FNE_j$  = Flujo neto de efectivo para el año correspondiente

$$VAN(+) = 185335,42$$

Para evaluar la tasa máxima de rendimiento se estimó un valor para que el VAN sea negativo y lo más cercano a cero, la tasa máxima de rendimiento máximo y el VAN negativo son:

$$i^- = 1,03$$

$$VAN(-) = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FNE_j}{(1 + i^-)^j}$$

$$VAN(-) = -200,53$$

#### - Tasa Interna de Rendimiento

Este indicador muestra un índice de rentabilidad del proyecto en relación con la inversión y si es mayor a la tasa de rendimiento debería aceptarse. Este indicador está en función del VAN positivo y negativo además de las tasas de rendimiento máxima y mínima.

$$TIR = -i^+ + (i^- - i^+) * \left( \frac{VAN(+)}{VAN(+)-VAN(-)} \right) * 100$$

$$TIR = 1,0291$$

#### - Relación Beneficio Costo

Este indicador evalúa el beneficio con relación a los ingresos y egresos obtenidos por el proyecto en base a cada año, si el valor es mayor a 1 debería aceptarse

$$RBC = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Ing_j}{(1 + i^+)^j}}{\sum_{j=1}^n \frac{Egr_j}{(1 + i^+)^j}}$$

$$RBC = 1,1452$$

#### - Periodo de Recuperación de Capital

Estima el tiempo que tomara en recuperar la inversión realizada para el proyecto.

Año en que se recuperara: Segundo año

$$PRCmes = Div\left(\frac{Inv}{FNE_2} * 12\right)$$

$$PRCmes = 11$$

$$PRCdia = Div\left(\left(\frac{Inv}{FNE_2} * 12\right) - PRCmes\right) * 30$$

$$PRCdia = 28$$

**Tiempo de Recuperación:** 1 año 11 meses 28 días

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con datos poblacionales e índices de acceso a la telefonía se pudo identificar las zonas pobladas que carecen totalmente del servicio de telefonía celular, mediante el análisis de factores propios de cada sitio se pudo determinar la mejor opción en base a población, factibilidad y necesidad como el sector de la comunidad Llinllin y sus alrededores ubicado en la parroquia Columbe.
- Mediante exploración de campo se recorrió todos los poblados de la comunidad, estableciendo la situación en la que se encuentran los habitantes de Llinllin mediante entrevistas, de las que se determinó que el 91% de los encuestados desean que exista cobertura de telefonía móvil en las comunidades; se identificó las zonas que necesitan de cobertura celular de acuerdo a los resultados de las mediciones de potencia de señal móvil dado que esta área se encuentra con un 99,10% sin servicio.
- En base a las encuestas y la factibilidad de las estaciones aledañas se eligió la tecnología celular más adecuada como 3G (UMTS, HSDPA) debido a que un 53% de los encuestados requerían una velocidad de conexión estándar frente a un 22% que requería servicio de telefonía básica y 25% que requería internet de alta velocidad, sin embargo, se tomó en cuenta el factor de escalabilidad para una futura actualización a 4G (LTE) en caso de ampliación de esta red.
- Se evaluó por software la topografía de la zona para identificar el sitio más apropiado para la ubicación del Nodo B tomando en cuenta los lugares a cubrir por difusión y la suficiente LOS hacia el punto de conexión por radio enlace, se complementó con la exploración del sitio y los mapas de distribución de energía eléctrica para precisar la ubicación pues se identificó un terreno geográficamente factible, de fácil acceso y con cercanía al tendido eléctrico en las coordenadas 1°52'30.86"S, 78°45'52.04"O.
- Se evaluó mediante software de planificación las diferentes formas posibles de sectorizar la celda de cobertura para el sitio, siendo la de 120° la óptima en cobertura y recursos, y se incrementó en 10dB el nivel de potencia recibida en los sectores de Llinllin Pucará, Llinllin Las Juntas implementando un tilt de 6°, de igual manera para San Bernardo mediante un tilt de 13° se incrementó los niveles de potencia recibida en 10dB.
- La mancha de cobertura resultante de las simulaciones y cálculos de direccionamiento de transmisores cumple con el propósito de brindar servicio de calidad a las principales zonas de la comunidad rural, ofrece un nivel de potencia de señal que va desde -65.76dBm

a -103,13dBm cubriendo en un 100% a las comunidades Llinllin (Pucara, Santa Fe, Las Juntas, Centro Cívico), San Bernardo, San Guisel Centro, y en un 90% aproximadamente en la comunidad San Guisel Alto lo cual no representa mayor problema debido a que una parte de la comunidad se conecta con estaciones base aledañas debido a que es el poblado ubicado a mayor altura.

- Se realizaron optimizaciones para que la capacidad del Nodo B mejore y tenga una buena performance para los posibles clientes en los primeros dos años. La limitación de potencia de HSDPA en 40 dBm permitió que las celdas no se saturen, así como el aumento del factor de carga al 63% y el aumento de Channel Elements a 1024.
- En el desarrollo del proyecto se optó por equipos Huawei en la estación base distribuida DBS3900 que consta de una unidad de banda base BBU3900 y unidades de radio remotas RRU3953, que operan en la banda 1900MHz en modo single RAN y propagan la señal con una potencia de 46dBm mediante antenas KATHREIN 742265.
- La conexión por radio enlace fue evaluada en función de un throughput de 25 Mbps y la canalización adecuada de acuerdo con recomendaciones del ITU en la banda de 7 GHz, con estos valores se pudo determinar que la modulación QPSK con un ancho de banda de 14 MHz eran las más apropiadas en función del equipo RTN 905. La potencia de transmisión y nivel de recepción obtenidos en función de los valores antes establecidos nos mostraron mediante el software de simulación que el porcentaje de confiabilidad sería del 100%.
- El estudio financiero muestra un costo de inversión aproximado de 38487 dólares; de acuerdo el promedio de inversión mensual por usuario, la segmentación de mercado y un crecimiento gradual de acceso al servicio se obtiene indicadores financieros muy alentadores. El VAN obtenido es mayor a 0, el TIR es mayor a la tasa de rendimiento propuesta de 0.2, el RBC es mayor 1 y el periodo de recuperación de capital es de dos años; de esta manera el proyecto se convierte en una opción rentable para las empresas de telecomunicaciones que deseen invertir.
- El valor social que representa este tipo de proyectos para las comunidades que se encuentran aisladas de servicios de telecomunicación es invaluable; si bien es conocido que aún no se logra cubrir todas las áreas rurales del país, estudios como el presentado demuestran que es factible conectar a los sitios desatendidos y ofrecerles las mismas oportunidades de estar en contacto con el resto del país y el mundo.

## **RECOMENDACIONES**

- Para acceder a información precisa y más actualizada sobre la población y distribución territorial de la provincia de Chimborazo es necesario el acceso a los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial tanto provinciales, cantonales y parroquiales.
- Los equipos apropiados se deben seleccionar de acuerdo con los requerimientos, pero también se debe tomar en cuenta la disponibilidad de estos y la escalabilidad para una futura actualización.
- Previo a realizar proyectos de este tipo es importante socializar con las personas que serán beneficiadas, para tener una mejor idea de lo que ellos necesitan y estarían dispuestos a utilizar, de esta manera se asegura una inversión enfocada en necesidades específicas y se evita gastos innecesarios que podrían generar pérdidas económicas.
- Es de suma importancia realizar un sondeo previo de las condiciones en las que se encuentra el lugar en el que se podría levantar la infraestructura de telecomunicaciones siempre enfocándose en los recursos que necesitara para implementarse; principalmente energía eléctrica y acceso al lugar.

## BIBLIOGRAFIA

**Ahmed Farahat Mohamed, Dr. Amin Babiker A/Nabi Mustafa.** “*Functions of X2 Interface*”. *International Journal of Science and Research*. 2016. (Sudan), p.1. [Consulta: 25 de agosto de 2018] Disponible en: <https://www.ijsr.net/archive/v5i2/NOV152543.pdf>

**Agencia de Regulación y Control de la Electricidad.** *Pliegos tarifarios del servicio público de energía eléctrica 2018*. [En línea]. ARCONEL, Ecuador, 2018. [Consulta: 27 de septiembre de 2018]. Disponible en: [http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/2018\\_06\\_13\\_pliego\\_tarifario\\_del\\_spee\\_2018\\_final\\_actualizado0507658001531166562.pdf](http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/2018_06_13_pliego_tarifario_del_spee_2018_final_actualizado0507658001531166562.pdf)

**Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.** Fijo y Móvil Terrestre [en línea]. 2018. [Consulta: 27 abril 2018]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/fijo-y-movil-terrestre/>

**ASTUDILLO MENDOZA, Isabela del Rocío.** *Sistema de información para la administración del espectro radioeléctrico de enlaces entre radio bases de los sistemas de telefonía móvil celular utilizando sistemas de información geográfica (GIS)* [En línea] (tesis) (pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. 2006. pp. 78-79. [Consulta: 21 de junio de 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/118/1/CD-0149.pdf>

**Corporación Nacional de Telecomunicaciones E.P..** *Geoportal CNT EP* [En línea]. 2018. Consulta: 30 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal>

**DÍAZ MILLÁN, Elena.** *Diseño radio e integración de una estación móvil para eventos de alto tráfico con tecnologías 2G/3G/LTE* [en línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad de Sevilla, España 2017, pp. 20-25. [Consulta: Consulta: 10 junio 2018]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12387/fichero/MemoriaPFC.pdf>

**Empresa Eléctrica Riobamba SA.** *Geoportal EERSA* [En línea]. 2018. [Consulta: 10 de junio de 2018]. Disponible en: <http://gis.eersa.com.ec/geoportal/>

*El sector de las Telecomunicaciones-a nivel internacional* [en línea]. 2012. [Consulta: 6 mayo 2018]. Disponible en: [http://www.aseta.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=49&Itemid=74](http://www.aseta.org/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=74)



**ENTEL S.A.** *Provisión de Torres Autosoportadas*. [En línea]. Entel S.A., Chile. 2017. [Consulta: 21 de junio de 2018] Disponible en:  
[http://www.entel.bo/inicio3.0/files/Especificaciones\\_Tecnicas\\_Torres\\_y\\_Torretas.pdf](http://www.entel.bo/inicio3.0/files/Especificaciones_Tecnicas_Torres_y_Torretas.pdf)

**ESPINOZA JIMÉNEZ, Gildardo Alejandro.** *PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RADIOBASE PARA LA TECNOLOGÍA DE LTE* [en línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad Autónoma de México 2016, pp. 22-25. [Consulta: 16 junio 2018]. Disponible en:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10856/Informe.pdf?sequence=3>

**FERNANDEZ SALMERON, Victo M.** *Ejemplo de diseño e implementación de una estación base GSM/UMTS* [En línea] (Tesis) (Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España. 2010. p. 12. [Consulta: 20 de junio de 2018]. Disponible en:  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8972/memoria.pdf>

**Figueroa, M.** *Introducción a los sistemas de telefonía celular* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Editorial Hispano Americana HASA, 2008, pp. 45-60. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3184106>

**GARCÍA, Juan; et al.** *Sistemas de comunicaciones móviles: segunda, tercera y cuarta generación* [en línea]. Cartagena-Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena, 2014, pp. 11-127. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en:  
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=4794898>

**Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guamote.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Guamote: GADMG, 2015. pp. 370,371. [Consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en:  
<https://www.municipiodeguamote.gob.ec/concejo-cantonal/plan-de-desarrollo/1595-pd-y-ot-guamote/file>

**Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Cebadas.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Cebadas: GADPRC, 2015. pp. 74, 75, 178, 223. [Consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0660818930001\\_PDyOT%20Consolidado\\_final\\_29-10-2015\\_23-07-05.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660818930001_PDyOT%20Consolidado_final_29-10-2015_23-07-05.pdf)

**Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Penipe.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Penipe: GADMP, 2015. pp. 111, 279. [Consulta: 15 de mayo de 2018]. Disponible en:

<https://www.dropbox.com/s/hjn5rsvaf1606js/2.5.%20COMPONENTE%20MOVILIDAD.pdf?dl=0>

**Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausí.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Alausí: GADMA, 2015. pp. 179. [Consulta: 15 de mayo de 2018]. Disponible en:

<http://www.alausi.gob.ec/index.php/ley-transparencia/lotaip-2018/abril-1/1074-actualizacion-pdot-alausi-2018/file>

**Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Achupallas.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Achupallas: GADPRA, 2015. pp. 49-50. [Consulta: 15 de mayo de 2018]. Disponible en:

<http://gobiernodeachupallas.gob.ec/index.php/gobierno-parroquial/pdot/89-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>

**Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Guano: GADMG, 2015. pp. 49-50, v135. [Consulta: 17 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0660823340001\\_PDYOT%20DIAGNOSTICO\\_30-10-2015\\_09-43-12.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660823340001_PDYOT%20DIAGNOSTICO_30-10-2015_09-43-12.pdf)

**Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Cajabamba: GADMC, 2015. pp. 92. [Consulta: 17 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.municipiodecolta.gob.ec/municipiolta/index.php/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial/category/49-pdot-ver-2>

**Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta.** *Población y Extensión de Comunidades. Informe Inédito. Cajabamba: GADMC, 2016*

**Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Columbe.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015* [En línea]. Columbe: GADPRC, 2015. pp. 124. [Consulta: 20 de mayo de 2018]. Disponible en:

[http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0660821210001\\_PDyOT%20GADPR%20COLUMBE%20FINAL\\_30-10-2015\\_23-08-08.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660821210001_PDyOT%20GADPR%20COLUMBE%20FINAL_30-10-2015_23-08-08.pdf)

**GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, Eloy.** *DESPLIEGUE DE UNA RED DE ACCESO RADIO EN COMUNICACIONES MOVILES* [en línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Madrid, España 2014, pp.15-24. [Consulta: 25 mayo 2018]. Disponible en: [http://oa.upm.es/40010/1/PFC\\_ELOY\\_GONZALEZ\\_HERNANDEZ.pdf](http://oa.upm.es/40010/1/PFC_ELOY_GONZALEZ_HERNANDEZ.pdf)

**GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ, Néstor Fabián, & ROJAS QUINTANA, Darwin.** *ESTUDIO Y MEDICIÓN DE CAUSAS DE INTERRUPCIÓN O TERMINACIÓN DEL SERVICIO EN LLAMADAS DE TELEFONÍA MÓVIL* [en línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Colombia 2016, pp. 20-33. [Consulta: 15 mayo 2018]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2836/1/Guti%C3%A9rrezHern%C3%A1ndezN%C3%A9storFabi%C3%A1n2016.pdf>

**Huawei Technologies Co.** *BBU3900 Description* [en línea]. 2012. [Consulta: 25 mayo 2018]. Disponible en: <https://e.huawei.com/en/products/wireless/gsm-r/radio-access-network/dbs3900>

**Huawei Technologies Co.** *RRU3953-1900M Remote Radio Unit User Manual Hardware* [en línea]. 2015. [Consulta: 28 mayo 2018]. Disponible en: <https://fccid.io/QISRRU3953-1900M/User-Manual/User-manual-2536637>

**Huawei Technologies Co.** *3900 Series Base Station- Hardware Description* [en línea]. 2014. [Consulta: 28 mayo 2018]. Disponible en: <https://huawei.com>

**Huawei Technologies Co.** *WCDMA DBS3900 Estructura de Hardware* [en línea]. [Consulta: 28 mayo 2018]. Disponible en: <https://huawei.com>

**Huawei Technologies Co.** *Telefónica Modernización & Swap Project 2017 Estándar de Instalación GUL - DBS 3900* [en línea]. 2017. [Consulta: 6 junio 2018]. Disponible en: <https://huawei.com>

**HUAWEI Technologies Co.** *RRU3953&RRU3953w Description. Shenzhen-China. 2015. p. 18.*

**HUAWEI Technologies Co.** *OptiX RTN 905 Radio Transmission System V100R005C00 Product Description*. Shenzhen-China. 2012. pp. 4, 5, 56, 64, 86.

**HUAWEI Technologies Co.** *RTN XMC ODU Hardware Description*. Shenzhen-China. 2013. p. 18.

**HUAWEI Technologies Co.** *Antenna Product Description A07D06HS*. Shenzhen-China. 2017. [Consulta: 20 de Julio de 2018] Disponible en:  
<https://fccid.io/ANATEL/04192-14-03257/A07D06HS/09E5B044-29B7-4B79-AC1E-EB7B6F2A39DD>

**INEC.** *Censo de Población y Vivienda 2010* [En línea]. Quito: INEC, 2010. pp. 17. [Consulta: 5 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Memorias/memorias\\_censo\\_2010.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Memorias/memorias_censo_2010.pdf)

**INEC.** *Proyección por edades Provincias 2010-2020 y nacional* [En línea]. [Consulta: 5 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Proyecciones\\_Poblacionales/PROYECCION\\_POR\\_EDADES\\_PROVINCIAS\\_2010-2020\\_Y\\_NACIONAL\\_2010-2020.xlsx](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/PROYECCION_POR_EDADES_PROVINCIAS_2010-2020_Y_NACIONAL_2010-2020.xlsx)

**LÓPEZ CEVALLOS, Wilmer Roberto.** *Estudio de factibilidad para la optimización del sistema móvil de comunicaciones de EMELNORTE S.A.*. (Tesis). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2000. pp. 1-30.

**Ministerio de Telecomunicaciones.** *¿Sabe cuáles son las entidades adscritas y relacionadas al MINTEL?* [en línea]. 2018. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en:  
<https://www.telecomunicaciones.gob.ec/sabe-cuales-son-las-entidades-adscritas-y-relacionadas-al-mintel/>

**MOROCHO VALDIVIESO, Ángel Renato.** *Estudio de telefonía fija inalámbrica con CDMA-450: Propuesta; Diseño de BTS para CNT-EP Chimborazo para el sector Palmira* [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba, Ecuador. 2014. p. 74. [Consulta: 05 de junio de 2018]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3589>

**ORTÍZ BUSTILLO, Carmen.** *PROCEDIMIENTO DEL SWAP DE UNA BTS/NB EN LA RED DE ACCESO RADIO (Swap Procedure of a BTS/NB in the Radio Access Network)* [en línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad de Cantabria 2013, pp.30-35. [Consulta: Consulta: 16 junio 2018]. Disponible en:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10856/Informe.pdf?sequence=3>

**RÁBANOS, José; et al.** *Comunicaciones móviles* [en línea]. Madrid-España: Editorial Universitaria Ramón Areces, 2015, pp. 30-40. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en:  
<https://books.google.com.ec/books?id=lnqnDAAAQBAJ&lpg=PA21&dq=que%20es%20un%20operador%20movil&lr&hl=es&pg=PA21#v=onepage&q&f=false>

**Sendín, EA.** *Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles: evolución y tecnologías* [en línea]. Madrid-España: McGraw-Hill España, 2004, pp. 5-10. [Consulta: 6 mayo 2018]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3195102>

**STASIAK, M, & WIEWIORA, J, & ZWIERZYKOWSKI, P.** *Modeling and Dimensioning the Iub Interface in the UMTS Network* [En línea]. *Ubiquitous Computing and Communication Journal*. Poznan University of Technology, Poznan-Poland. 2009. p. 7. [Consulta: 21 de junio de 2018]. Disponible en:  
<https://www.researchgate.net/publication/234061583>

**UIT-R.** *Bienvenido al UIT-R* [en línea]. 2018. [Consulta: 6 mayo 2018]. Disponible en:  
<https://www.itu.int/es/ITU-R/information/Pages/default.aspx>

**UIT.R F.385.10.** *Disposición para radiocanales para sistemas fijos que funcionan en la banda de 7110 MHz – 7900 MHz.* 2012

**UIV.** *Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G* [en línea]. 2000. [Consulta: 25 mayo 2018]. Disponible en:  
<http://www.universidadviu.com/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>